



Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior
Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA:

**CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA
VELOCIDAD MADRID-GALICIA.**

TRAMO: OLMEDO-ZAMORA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: **D. Zacarías Barcenilla Torres**

Director: **Dra. Ester Olmeda Santamaría**

Julio 2010



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. ANTECEDENTES	4
2. LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA.....	5
2.1. HISTORIA	5
2.2. LINEAS DE ALTA VELOCIDAD.....	10
2.3. LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD.....	13
3 CONCEPTOS FERROVIARIOS: INFRAESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA ...	19
3.1 LA VÍA FERROVIARIA	19
3.2 INFRAESTRUCTURA.....	19
3.3 SUPERESTRUCTURA	22
3.4 ENCLAVES FERROVIARIOS	29
4 SISTEMA DE ALIMENTACION DE LA CATENARIA	31
4.1 SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN MONOFÁSICA A 25KV, 50 HZ.....	31
4.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS 1X25 Y 2X25 KV	35
4.3 SOLUCIÓN ADOPTADA	38
5 DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD.	39
5.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	39
5.2 ELEMENTOS DE LA CATENARIA	40
5.3 COMPENSACIÓN MECÁNICA DE LA CATENARIA	48
5.4 ZONAS NEUTRAS.....	53
5.5 AGUJA AÉREA	54
6 ANALISIS DEL TRAMO OLMEDO-ZAMORA.....	55
6.1 INTRODUCCIÓN	55



6.2	ANÁLISIS DEL TRAMO OLMEDO ZAMORA.....	58
7.	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	65
7.1.	INTRODUCCIÓN	65
7.2.	PARÁMETROS BÁSICOS DEL SISTEMA	66
7.3.	CONFIGURACIÓN DEL EQUIPAMIENTO Y CRITERIOS DE DISEÑO	70
7.4.	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	71
7.5.	DISEÑO DE ESTRUCTURAS.....	72
7.6.	DISEÑO DE EQUIPOS DE SUSPENSIÓN Y ATIRANTADO	73
7.7.	DISEÑO DE EQUIPOS DE COMPENSACIÓN DE TENSIONES	73
7.8.	DISEÑO DE COMPONENTES.....	75
7.9.	FIABILIDAD.....	77
7.10.	DISPONIBILIDAD	78
7.11.	ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES	78
8.	CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA ADOPTADA	79
8.1.	ASPECTOS MECÁNICOS GENERALES DE LA CATENARIA	79
8.2.	ASPECTOS ELÉCTRICOS DE LA CATENARIA.....	86
8.3.	DATOS TÉCNICOS DE LA CATENARIA PROYECTADA.....	86
8.4.	DATOS CONSTRUCTIVOS DE LA CATENARIA.....	88
9.	MÉTODO SEGUIDO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LA LÍNEA AÉREA DE CONTACTO.....	97
10	VANO Y ATIRANTADO	99
10.1	VANO	99
10.2	ESFUERZOS EN LOS BRAZOS DE ATIRANTADO	108
11	FUERZAS GENERADAS EN LOS CABLES.....	113
11.1	TENSIONES MECÁNICAS EN LOS CABLES	113
11.2	ESFUERZOS EN LOS CABLES	122
11.3	CÁLCULO DE LOS MOMENTOS EN LA BASE DE LOS POSTES	124
11.4	RESULTADOS: MOMENTOS EN LA BASE DE LOS POSTES.....	148



12	MOMENTOS DE VUELCO SOBRE LOS POSTES	151
12.1	POSTE TIPO	151
12.2	PUNTO FIJO	153
12.3	ANCLAJE DE PUNTO FIJO	155
12.4	ANCLAJE DE SECCIONAMIENTO	158
12.5	EJE DE SECCIONAMIENTO	160
12.6	SEMIEJE DEL SECCIONAMIENTO	162
12.7	POSTE CON TRES MÉNSULAS (EN AGUJAS AÉREAS)	165
12.8	ANCLAJE DE SECCIONAMIENTO CON TRES MÉNSULAS	169
12.9	PORTICOS	173
13	RESISTENCIA DE LOS POSTES	177
13.1	PERFILES UPN	177
13.2	CÁLCULO DEL MOMENTO ADMISIBLE	179
14	SELECCIÓN DE LOS POSTES	191
15	CÁLCULO DE CIMENTACIONES	195
15.1	CONSIDERACIONES GENERALES	195
15.2	CÁLCULO DE CIMENTACIONES	195
16	CUADERNO DE TRABAJO	203
17	PRESUPUESTO	205
17.1	PRECIOS UNITARIOS	205
17.2	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	208
18	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE TRABAJOS FUTUROS	209
19	BIBLIOGRAFÍA	211



19.1 NORMAS	205
19.2 LIBROS.....	213
19.3 ARTÍCULOS EN PUBLICACIONES ELECTRÓNICAS	213
19.4 PROYECTOS CONSTRUCTIVOS	214
19.4 PAGINAS WEB	214
ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO	215



ÍNDICE DE FIGURAS

2. LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA

2.1.	Talgo III con Locomotora 200-T	5
2.2.	AVE entre Madrid-Sevilla. Año 1992	6
2.3.	ALARIS entre Madrid y Valencia	7
2.4.	Tren Alvia	8
2.5.	Esquema funcionamiento Tren de Deslizamiento Magnético	9
2.6.	Imagen Catenaria Tren Alta Velocidad	13

3 CONCEPTOS FERROVIARIOS: INFRAESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA

3.1	Ejemplos de Viaductos	20
3.2	Curvas en transición. Clotoide	21
3.3	Tipos de perfiles longitudinales	21
3.4	Tipos de perfiles transversales	22
3.5	Partes del carril	23
3.6	Componentes de las agujas	23
3.7	Desvío Mixto	24
3.8	Traviesa	24
3.9	Combinación de aparatos de vía	24
3.10	Cambio de aguja eléctrico	24
3.11	Cambio de aguja mecánico	25
3.12	Cambio de aguja manual	25
3.13	Señal semaforica	26
3.14	Señal luminosa	26
3.15	Señal portatil	26
3.16	Señal limitacion velocidad	26
3.17	Conjunto de soporte y conjunto de atirantado	27
3.18	Conjunto de suspensión	28
3.19	Conjunto de compensación	28
3.20	PAET de LÁlbrorç	29
3.21	PAET de miraflores de la Sierra	29
3.22	Ejemplo de Puesto de Banalización	30

4 SISTEMA DE ALIMENTACION DE LA CATENARIA

4.1	Sistema de alimentación en 1x25 kV	32
-----	--	----



4.2	Sistema de alimentación en 2x25 kV	32
4.3	Ejemplo de subestación eléctrica de tracción.....	33
4.4	Sistema de alimentación en 2x25 kV	34
4.5	Centro de Autotransformación	34
4.6	Comparativa económica 1x25 kV y 2x25 kV	36

5 DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD.

5.1	Alimentación mediante tercer carril.....	39
5.2	Alimentación mediante Línea Aérea	40
5.3	Pantógrafo frotando con la Línea Aérea	40
5.4	Sustentador e hilo de contacto.	41
5.5	Sección de un hilo de contacto	42
5.6	Efecto del descentramiento al moverse el pantógrafo	42
5.7	Esquema equipo de sustentación	43
5.8	Esquema Ubicación Péndolas	44
5.9	Esquema Anclaje Péndolas	44
5.10	Macizos de fundación de postes y de anclajes.....	45
5.11	Ubicación ménsula con respecto al poste, el hilo de contacto y el sustentador.....	46
5.12	Esquema de pórtico rígido para cuatro vías.....	47
5.13	Esquema de un cantón de compensación	49
5.14	Compensación mediante contrapesos	50
5.15	Esquema de un seccionamiento de 4 vanos	51
5.16	Esquema de un seccionamiento de 5 vanos	52
5.17	Esquema de un seccionamiento de lamina al aire de 4 vanos.....	53
5.18	Esquema de una zona neutra.....	53

6 ANALISIS DEL TRAMO OLMEDO-ZAMORA

6.1	Zona de Actuación y Plano Red Ferroviaria española.....	55
6.2	Plano Línea Madrid-Olmedo-Galicia (Santiago de Compostela).....	56
6.3	Subtramo Olmedo – Pozal de Gallinas	59
6.4	Subtramo Pozal de Gallinas – Villaverde de Medina	60
6.5	Subtramo Villaverde de Medina – Villafranca de Duero.....	61
6.6	Subtramo Villafranca de Duero - Coreses	62
6.7	Subtramo Coreses – Zamora.....	63

7 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

7.1	Distancia seguridad del pantógrafo.....	67
-----	---	----



7.2	Distancia de seguridad entre el tubo de Atirantado y el Hilo de Contacto	68
7.3	Poleas de compensación.....	74

8 CARACTERISTICAS DE LA CATENARIA ADOPTADA

8.1	Composición de la catenaria.....	80
8.2	Equipo de Compensación.....	81
8.3	F_M en función de la Velocidad de Circulación	84

10 VANO Y ATIRANTADO

10.1	Esquema Vano.....	99
10.2	Posición de equilibrio en la catenaria por efecto del viento en el caso ideal.....	100
10.3	Esquema simplificado de las fuerzas actuantes en la catenaria en el caso ideal	100
10.4	Esquema Vano en recta y con descentramiento	101
10.5	Atirantado en curva	103
10.6	Esquema Vano en curva y con descentramiento.....	104
10.7	Grafica Radio de la Curva – Vano Máximo	105
10.8	Esquema Fuerzas de Atirantado en recta	109
10.9	Esquema Fuerzas de Atirantado en curva	111

11 FUERZAS GENERADAS EN LOS CABLES

11.1	Grafico Deformación - Tiempo	104
11.2	Resultante Peso de los cables y Fuerza del viento sobre los postes	124
11.3	Esquema Atirantado	127
11.4	Fuerzas que actúan sobre el hilo de contacto y sobre el sustentador	129
11.5	Fuerzas que actúan sobre el <i>feeder</i> -, <i>feeder</i> + y cable de retorno	134
11.6	Esquema de un seccionamiento de 4 vanos	138
11.7	Fuerza de atirantado en el anclaje de seccionamiento	138
11.8	Anclaje del Hilo de Contacto y del Sustentador a la cimentación.....	139
11.9	Esquema de un Punto fijo y de una cola de anclaje	144
11.10	Tensión de la cola de anclaje en el punto fijo	145
11.11	Tensión de la cola de anclaje en el anclaje del punto fijo	145

12 MOMENTO DE VUELCO SOBRE LOS POSTES

12.1	Esquema de fuerzas en un poste tipo	152
12.2	Esquema de Fuerzas en un Punto Fijo	154
12.3	Descomposición tensión de atirantado en el punto fijo	154



12.4	Descomposición de la tensión de atirantado de la cola de anclaje	156
12.5	Esquema de fuerzas en un anclaje de punto fijo	156
12.6	Descomposición de tensiones en los anclajes de sustentador y de hilo de contacto.....	158
12.7	Esquema de fuerzas en un anclaje de seccionamiento	159
12.8	Cables que sustenta el eje de seccionamiento.....	161
12.9	Tensión de los anclajes sobre el semieje de seccionamiento	163
12.10	Fuerzas que actúan en el semieje de seccionamiento	164
12.11	Cables que sustenta el anclaje de seccionamiento con tres ménsulas	167
12.12	Sempiórtico	174
12.13	Pórtico 3 vías	175
12.14	Pórtico 4 vías	175

13 RESISTENCIA DE LOS POSTES

13.1	Perfil UPN	178
13.2	Poste formado por dos perfiles UPN y diagonales	179
13.3	Cálculo momento de inercia dos perfiles UPN unidos por diagonales	180
13.4	Ubicación de los postes con respecto al eje de la vía	181
13.5	Poste formado por dos perfiles UPN unidos por dos chapas	185
13.6	Momento de Inercia de un poste formado por dos perfiles UPN unidos por dos chapas.....	186
13.7	Momento de Inercia de una chapa.....	186
13.8	Ubicación de los postes con respecto al eje de la vía	188



ÍNDICE DE TABLAS

2. LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD

2.1.	Líneas de Alta Velocidad actualmente en servicio en España.	10
2.2.	Líneas de Alta Velocidad actualmente en fase de construcción en España.	11
2.3.	Líneas de Alta Velocidad actualmente en fase de proyecto en España.	12

4 SISTEMA DE ALIMENTACION DE LA CATENARIA

4.1	Comparativa mantenimiento sistemas 1x25 kv y 2x25 kv	37
-----	--	----

6 ANALISIS DEL TRAMO OLMEDO-ZAMORA

6.1	Subtramos del tramo Olmedo-Zamora	57
6.2	Subtramos del tramo Zamora - Lubián.....	57
6.3	Subtramos del tramo Lubián - Orense	57
6.4	Subtramos del tramo Orense – Santiago de Compostela	57

10 VANO Y ATIRANTADO

10.1	Datos de partida cálculo del vano	104
10.2	Radio de la curva – Vano máximo	105
10.3	Resistencia del viento sobre el hilo de contacto y el sustentador.....	107
10.4	Flecha máxima en recta	107
10.5	Flecha máxima en curva de $R = 5000$ m.....	107
10.6	Flecha máxima en curva de $R = 1200$ m.....	108

11 FUERZAS GENERADAS EN LOS CABLES

11.1	Características de los cables no compensados.....	118
11.2	Valores de tensión, flecha y coeficiente de seguridad para cables no compensados.....	119
11.3	Tabla de tendido para el cable LA-110.....	120
11.4	Tabla de tendido para el cable LA-280.....	120
11.5	Tabla de tendido para el cable LA-380.....	120
11.6	Resistencia del viento sobre los cables.....	125
11.7	Tabla Resumen Momentos transmitidos en la base de los postes.....	128



12 MOMENTO DE VUELCO SOBRE LOS POSTES

12.1	Resultados Momento de Vuelco en un poste tipo	153
12.2	Resultados Momento de Vuelco en un poste tipo con feeder de refuerzo.....	153
12.3	Resultados Momento de Vuelco en un punto fijo.	155
12.4	Resultados Momento de Vuelco en un punto fijo con feeder de refuerzo.....	155
12.5	Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de punto fijo.....	157
12.6	Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de punto fijo con feeder de refuerzo.....	157
12.7	Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de seccionamiento.....	159
12.8	Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de seccionamiento con feeder de refuerzo..	160
12.9	Resultados Momento de Vuelco en un eje de seccionamiento	161
12.10	Resultados Momento de Vuelco en un eje seccionamiento con feeder de refuerzo	162
12.11	Resultados Momento de Vuelco en un semieje de seccionamiento.....	164
12.12	Resultados Momento de Vuelco en un semieje de seccionamiento con feeder de refuerzo.	164
12.13	Resultados Momento de Vuelco en un poste con tres ménsulas	165
12.14	Resultados Momento de Vuelco en un poste con tres ménsulas con feeder de refuerzo	166
12.15	Resultados Momento de Vuelco en un A.S. con tres ménsulas	168
12.16	Resultados Momento de Vuelco en un A.S. con tres ménsulas con feeder de refuerzo	168
12.17	Resultados Momentos de Vuelco para cada tipo de poste	169
12.18	Momentos máximos generados en los pórticos.....	173

13 RESISTENCIA DE LOS POSTES

13.1	Características Geométricas de los Perfiles UPN.....	178
13.2	Características Mecánicas de los Perfiles UPN.....	178
13.3	Resultados Momentos admisibles dos UPN unidos por diagonales.....	183
13.4	Resultados Momentos admisibles dos UPN unidos por chapas	189

14 SELECCIÓN DE LOS POSTES

14.1	Selección de Postes	192
14.2	Selección de postes para los pórticos.....	194

15 CÁLCULO DE CIMENTACIONES

15.1	Características macizos cilíndricos de $d=0,75m$	199
15.2	Resultados momentos admisibles macizos cilíndricos de $d=0,75m$	199
15.3	Características macizos cilíndricos de $d=1,0 m$	200
15.4	Resultados momentos admisibles macizos cilíndricos de $d=1,00 m$	200
15.5	Selección de cimentaciones para cada tipo de poste existente	201



17 PRESUPUESTO

17.1	Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble	205
17.2	Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble en Viaducto	206
17.3	Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble en Túnel Monotubo	206
17.4	Precio kilómetro de catenaria en Puesto de Banalización	206
17.5	Precio kilómetro de catenaria en P.A.E.T.	207



RESUMEN

El presente proyecto consiste en el dimensionamiento de los sistemas mecánicos que conforman la **Línea Aérea de Contacto**, más conocida como **Catenaria** en el argot ferroviario, de la futura Línea de Alta Velocidad entre Madrid y Galicia en su tramo comprendido entre Olmedo y Zamora.

Se conoce como catenaria a la línea que suministra energía al tren a través de un captador móvil denominado pantógrafo.

Las características mecánicas de una instalación de catenaria de elevadas prestaciones tienen como objeto obtener un funcionamiento homogéneo de la instalación, asegurando una correcta captación de corriente por el pantógrafo a la velocidad de circulación de los trenes. Para ello es necesario evitar los cambios bruscos en el movimiento de las masas que conforman la instalación y la concentración puntual de masas. Se presta especial atención a la geometría de la catenaria, controlando que los paramentos geométricos, incrementos de longitud por aumento de temperatura de los cables, desplazamientos de ménsulas, compensaciones, flechas, etc., se desplacen dentro de los márgenes permitidos.

Se parte de un conocimiento exhaustivo de los factores del entorno que influyen en la catenaria, como son: la climatología, la infraestructuras de la vía (es decir, las curvas y pendientes del tramo de estudio) y la infraestructura energética de la zona, y del estudio eléctrico de la línea, mediante el cual se ha determinado la composición y secciones de los conductores de la catenaria. Igualmente, se han considerado todas las normas sobre dimensionamiento de Catenaria recogidas en los reglamentos nacionales y en Europa.

El **diseño mecánico** consiste en el cálculo de los momentos de vuelco que generan los cables de la catenaria sobre los postes que los sustentan, existiendo una gran variedad de postes en función de las diferentes configuraciones geométricas, funcionales y estructurales que se pueden presentar.

En España se emplean postes de acero, formados por dos perfiles UPN, cuyas dimensiones no están normalizadas pero que, en función de las dimensiones de los perfiles UPN que se utilicen en su construcción, permiten obtener una resistencia a rotura u otra. Es por ello que, una vez conocido el esfuerzo máximo al que están sometidos los postes, es necesario calcular la resistencia a rotura de las distintas configuraciones de perfiles UPN para así poder determinar qué tipo de poste es más apropiado para soportar dichos esfuerzos, replanteando sobre el terreno la configuración de la catenaria.

Para cada modelo de poste estudiado se dimensiona la correspondiente cimentación que le permita absorber los esfuerzos a los que esta sometido, asentándole eficazmente sobre el terreno.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

*1. INTRODUCCIÓN Y
ANTECEDENTES*

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se va a dimensionar mecánicamente la Línea Aérea de Contacto de la futura Línea de Alta Velocidad entre Madrid y Galicia en su tramo comprendido entre Olmedo y Zamora.

El estudio y diseño de catenarias es un trabajo multidisciplinar que requiere conocimientos y estudios eléctricos, mecánicos, medioambientales y reglamentarios que exigen, en muchos casos, el empleo de medios informáticos avanzados. En el presente proyecto se parte de un conocimiento previo de los requerimientos eléctricos, de los condicionantes medioambientales de la zona de estudio y de la normativa de aplicación, tanto nacional como europea, en Líneas Aéreas de Contacto y de Líneas de Alta Tensión.

Una catenaria de alta velocidad es una línea eléctrica que suministra a los motores del tren potencias muy elevadas mediante el rozamiento de una pletina conductora a velocidades muy altas, pudiendo alimentar trenes de 20.000 kVA a velocidades de 350 km/h. Para que esto sea posible y además la instalación sea duradera es preciso que el contacto con la línea sea continuo, sin interrupciones de contacto y con presiones de contacto no muy elevadas para evitar el desgaste acelerado de la línea.

El proyecto comienza con una revisión sobre "el estado del arte" de la tecnología de catenaria, resumida en los capítulos 2, 3, 4, y 5. En estos capítulos se pretende adquirir una visión suficientemente general de las instalaciones de catenaria en Alta Velocidad, adentrándonos en sus principios básicos y características particulares, para posteriormente comenzar a describir los cálculos mecánicos necesarios para dimensionar la infraestructura.

En el Capítulo 6 se describe detalladamente el tramo objeto de estudio donde se va a desarrollar el presente proyecto, especificando las características geométricas del trazado que, como se podrá ver en los cálculos mecánicos, son determinantes para el dimensionamiento de los equipos.

En el capítulo 7 se detallan las especificaciones mecánicas y eléctricas necesarias para el diseño de la catenaria, en función de las normas, legislaciones, antecedentes y proyectos relacionados de aplicación. De este modo, una vez conocidas las condiciones de contorno, en el capítulo 8, se describe detalladamente los componentes y las dimensiones de la catenaria.

Llegados a este punto ya se puede comenzar con el dimensionamiento de los elementos de sustentación de la catenaria, objeto principal del proyecto. En los capítulos que van del 9 al 16 se describe detalladamente el procedimiento de cálculo que se ha llevado a cabo para la selección de los postes que van a sustentar la catenaria. Comienza con el cálculo de los esfuerzos que pueden generar momentos de vuelco en las sustentaciones para posteriormente calcular los esfuerzos máximos que soporta cada tipo de poste o pórtico, y de este modo, en función del momento resistente que es capaz de soportar, seleccionar el modelo de poste o pórtico mas adecuado. El diseño mecánico finaliza con el replanteo



sobre el terreno de los resultados obtenidos mediante un cuaderno de trabajo, donde se especifica para cada punto kilométrico el elemento de sustentación adoptado.

Finalmente, se lleva a cabo una breve evaluación económica del proyecto, la cual aporta un punto de vista distinto, pero desde luego no menos interesante, de lo costosas que resultan estas instalaciones ferroviarias de alta velocidad.

1.2. ANTECEDENTES

Para la elaboración del Proyecto Constructivo de Línea Aérea de Contacto y Sistemas Asociados del la Línea de Alta Velocidad Madrid – Galicia, tramo Olmedo – Zamora, el Ministerio de Fomento facilitó los siguientes documentos para su elaboración:

I. Estudio informativo del Proyecto de mejora de la Línea Medina del Campo –A Coruña

II. Proyectos Constructivos de Plataforma del Corredor Norte – Noroeste LAV Madrid Galicia. Tramo Olmedo Zamora

Se entregaron los proyectos de los cinco subtramos:

➤ Olmedo – Pozal de Gallinas

➤ Pozal de gallinas – Villaverde de Medina

El proyecto incluye el diseño del PAET de Medina del Campo.

➤ Villaverde de Medina – Villafranca de Duero

El proyecto incluye el diseño del PB de Navas del Rey y se contempla una explanación para Edificio Técnico.

➤ Villafranca de Duero – Coreses

El proyecto incluye el diseño del PAET de Toro y el PB de Coreses.

➤ Coreses – Zamora

III. Proyectos Constructivos de Plataforma del Corredor Norte – Noroeste LAV Madrid Galicia. Tramo Zamora Lubián

Con el fin de seleccionar las ubicaciones idóneas de Subestaciones y Centros de Autotransformación, el Ministerio hizo entrega de los proyectos de los cinco subtramos pertenecientes al tramo Zamora – Lubián.

➤ Zamora – Perilla de Castro

➤ Perilla de Castro – Otero de Bodas

➤ Otero de Bodas – Cernadilla



- Cernadilla – Pedralba
- Pedralba – Lubián



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

2. ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA

CAPÍTULO 2

LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA



2 LA ALTA VELOCIDAD EN ESPAÑA

Desde la aparición de la Alta Velocidad Española en 1992, la red ferroviaria de alta velocidad de España se ha visto incrementada notablemente con tres líneas en pleno funcionamiento y muchas otras en preparación o en proyecto. Con la consecuente modernización de las infraestructuras de transporte del país, este proyecto a largo plazo consigue revitalizar numerosas zonas tradicionalmente apartadas, como Andalucía. La inclusión de trenes de fabricación nacional y las constantes obras han supuesto un importante impulso en la economía española.

2.1 HISTORIA

2.1.1 LOS INICIOS

En junio de 1966, durante una serie de ensayos de la locomotora 2000-T de Talgo (*Figura 2.1*), especial para remolcar el *Talgo III*, se alcanzan los 200 km/h en el trayecto entre Sevilla y Los Rosales: era la primera vez que en España se circulaba a esa velocidad, aunque tuvieron que pasar muchos años más para que la alta velocidad se consolidase, cosa que no ocurrió hasta la década de los 90.



Figura 2.1. Talgo III con Locomotora 200-T

Varios años después de este ensayo, en mayo de 1972, la locomotora 3005-T de Talgo-Krauss Maffei, bautizada como *Virgen de la Bien Aparecida*, alcanza los 222 km/h en la línea Madrid-Barcelona, entre las estaciones de Azuqueca de Henares (Guadalajara) y Meco (Madrid).

En 1976, se comenzó a investigar en España con un tren derivado del *ETR-401 Pendolino* italiano, enmarcado en España dentro de la serie 443 de Renfe, del que sólo se construyó una unidad que se preserva en Castejón (Navarra). Con este tren se llevó a cabo una serie de ensayos, siendo en uno de ellos, y ya en el año 1987, en el que se alcanzarían los 206 km/h entre los puntos kilométricos 220 y 221 de la línea de Madrid a Alicante.

2.1.2 EL AVE LLEGA A ESPAÑA

A finales de la década de los años 80 se empezó a proyectar la construcción de una línea de alta velocidad, a inspiración de la realizada por SNCF en Francia (el TGV). Entre otros proyectos se realizó uno de un trayecto que uniese la meseta castellana con Andalucía sin pasar por Despeñaperros.

Tras varios años de proyectos, se llegó a la conclusión de que una línea en *ancho internacional* sería acertada, ya que permitiría aprovechar trenes e instalaciones probadas en Europa, y se propuso la creación de la primera línea de alta velocidad (LAV) en España.

El proyecto de N.A.F.A. (Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía) se estaba estudiando como alternativa a la línea por Despeñaperros, dada la necesidad de revitalizar la estancada economía del sur del país. Tras varios años de obras, la primera línea se inaugura el 14 de abril de 1992 (*Figura 2.2*), coincidiendo con la Expo 92 celebrada en Sevilla. En sus dos primeros años de funcionamiento, el AVE circulaba entre Madrid y la capital andaluza en 2 horas y 55 minutos, con paradas intermedias en Ciudad Real, Puertollano y Córdoba.



Figura 2.2. AVE entre Madrid-Sevilla. Año 1992.

El 23 de abril de 1993 se alcanzó el récord de velocidad de los trenes AVE con 356,8 km/h, lo que permitió que en 1994 se iniciase la explotación comercial a 300 km/h en los trenes AVE de larga distancia, reduciéndose en 40 min la duración del trayecto entre Madrid y Sevilla.

2.1.3 EXTENSIÓN DE LA ALTA VELOCIDAD

En 1987 comenzaron los proyectos para reformar el Corredor Mediterráneo y dotarlo de doble vía en toda su totalidad, proyecto del que en 1996 se inaugurarían los primeros tramos de alta velocidad, situados entre Vandellós y Oropesa del Mar, permitiendo circular al tren a 200 km/h en una infraestructura apta para esa velocidad.

En el verano de 1997 entró en servicio comercial el tren Euromed, un tren de alta velocidad de ancho ibérico, que cubre la línea entre Barcelona y Alicante pasando por Tarragona, Castellón de la Plana y Valencia.

Al Euromed se le sumaría en 1999 el Alaris, circulando entre Madrid y Valencia vía Albacete a una velocidad máxima de 200 km/h (Figura 2.3).



Figura 2.3. ALARIS entre Madrid y Valencia.

En 1999 se proyecta la construcción de la LAV Córdoba–Málaga, para poder llevar el AVE a la Costa del Sol.

En la línea Madrid–Valladolid comienzan en 2002 las obras de los túneles de Guadarrama, para salvar el Sistema Central. Además, en vista a un futuro relativamente próximo, se está ejecutando la variante de Pajares (que incluye los túneles de Pajares) para conectar dicha línea con Asturias.

La construcción de una nueva línea de ancho internacional de Madrid a la frontera francesa, en su primera fase Madrid–Zaragoza–Lérida, se culmina en 2003, en que se hace el primer viaje oficial. Entra en servicio el 11 de octubre de 2003 el *AVE Larga Distancia Madrid–Zaragoza–Lérida*, que conecta estas ciudades junto a Guadalajara–Yebes y Calatayud. Durante los primeros años no lo hace a la velocidad prevista por no tener listo el sistema europeo normalizado de señalización ERTMS. Esta línea es la primera en España en contar con el sistema de electrificación a 2x25kV 50Hz, que permite alejar la distancia a la que se sitúan las subestaciones de tracción, sin necesidad de aumentar la tensión.

En diciembre de 2004 se inaugura el servicio *Avant Sevilla–Córdoba*, cuyos trayectos duran unos 40 minutos con el nuevo material S-104, que también se introduce en el servicio *Avant Madrid–Ciudad Real–Puertollano* (anterior *AVE Lanzadera*) en enero de 2005. Un material similar, los S-102, cubren el servicio *AVE Larga Distancia Madrid–Zaragoza–Huesca*, que se inaugura en abril de 2005.

La construcción de un nuevo acceso ferroviario de alta velocidad hasta Toledo de 21 km, partiendo de la primera infraestructura en la comarca toledana de La Sagra, permite inaugurar el servicio *Avant Madrid–Toledo* en noviembre de 2005. El trayecto dura menos de 30 minutos. Esta línea de alta velocidad generó y genera controversia por la eliminación del resto de los servicios ferroviarios que operaban en Toledo, ya que al pasarse la relación por la vía de ancho UIC, varios municipios grandes como Getafe, Aranjuez y



Algodor perdieron el tren directo a Toledo, quedándose la estación de Algodor sin servicio comercial. Actualmente Toledo sólo tiene acceso a la red de alta velocidad en ancho UIC, lo que imposibilita el transporte de mercancías y viajeros de otras procedencias que no sean de líneas de alta velocidad.

En mayo de 2006 se anuncia el incremento de velocidad en los servicios AVE S-102 que operan en la línea Madrid–Zaragoza–Lérida, pasando de los 200 km/h a los 250 km/h gracias a la entrada en funcionamiento del ERTMS de nivel 1, un sistema de conducción automática de los trenes compatible en un futuro con las líneas francesas y del resto de Europa. Desde el 17 de octubre de ese año, dichos servicios circulan a 280 km/h. En agosto de 2007 se alcanzan los 300 km/h. Para alcanzar los 350 km/h hay que esperar al nivel 2 del ERTMS.

En mayo de 2006 entran en servicio los Alvia (*Figura 2.4*), unos trenes capaces de operar en ancho internacional o ibérico con la misma locomotora, y de cambiar de ancho sobre la marcha. Estos trenes recortan el tiempo de viaje entre Madrid y varias ciudades del norte de España, como Bilbao, Vitoria, Santander o Gijón.



Figura 2.4. Tren ALVIA.

El 16 de diciembre de 2006 se abre el tramo Córdoba–Antequera de la línea Madrid–Córdoba–Málaga, que incluye las estaciones de Puente Genil-Herrera y Antequera-Santa Ana. Esto permitió un recorte del tiempo en los viajes entre Madrid y Algeciras, además de un nuevo itinerario hacia Granada. Dos días después se abre el tramo Lérida–Camp de Tarragona de la línea Madrid–Barcelona–Frontera Francesa.

El 22 de diciembre de 2007 se inauguró la línea Madrid-Segovia-Valladolid, y un día después el tramo que quedaba de la L.A.V. Córdoba–Málaga (Antequera–Málaga).

Aunque inicialmente prevista para el 21 de diciembre, el 20 de febrero de 2008 se abrió al público el tramo Roda de Bará-Barcelona de la L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. De este modo la conexión por alta velocidad entre Madrid y Barcelona está operativa, con un tiempo de viaje de 2 horas y 38 minutos.

En mayo de 2009, se firmó el convenio para construir el ferrocarril de alta velocidad en Navarra, poniendo fin a trece años de parones y movimientos en falso.

Para 2010 el Gobierno de España tiene previsto contar con la mayor red de alta velocidad ferroviaria en el mundo, con 2.230 km, superando a países pioneros en la alta velocidad, como Japón o Francia. La próxima línea de alta velocidad en ser inaugurada será el trayecto Madrid-Valencia que en 2010 incorporará a la red AVE sus 364,7 km.

2.1.4 EL FUTURO

Cuando aún se asiste a la llegada de estos trenes de alta velocidad a las estaciones europeas, en Japón ya ha surgido un inconveniente. Distintos estudios demuestran que la adherencia de las ruedas de acero sobre los raíles disminuye notablemente a velocidades superiores a los 350 km/h. La seguridad impone un límite que hay que salvar. La esperanza está puesta en una tecnología que permita que el tren levite pero, eso sí, a una velocidad que podría alcanzar los 500 km/h. Son los «trenes de deslizamiento magnético» o *Mag-Lev*. Con la velocidad surge otro inconveniente: la energía necesaria para vencer la resistencia aerodinámica aumenta con el cubo de la velocidad.

La tecnología japonesa del tren de levitación (*Figura 2.5*) se basa en una serie de imanes en forma de «U» invertida colocados en el borde del vagón y contrapuestos a los que van en la parte inferior del raíl, sobre los que reposa el vehículo hasta que son activados. Entonces la repulsión entre los imanes lo levanta, y un motor facilita la propulsión.

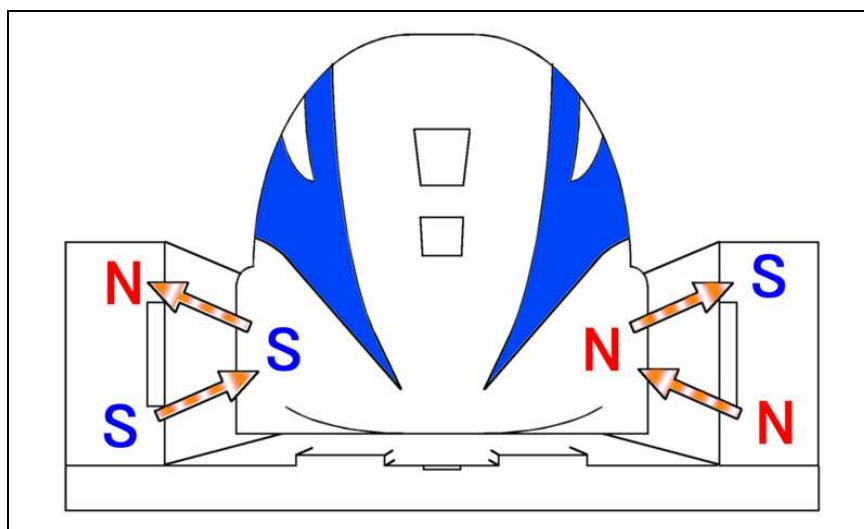


Figura 2.5. Esquema funcionamiento Tren de Deslizamiento Magnético

La otra posibilidad tecnológicamente viable, en la que trabajan los alemanes, es el sistema electromagnético de atracción. En su tren, el Transrapid, los electroimanes no son superconductores, sino corrientes. Son atraídos hacia arriba por los componentes ferromagnéticos de la parte interior de la estructura de la guía.

El sistema de levitación magnética permite radios de curvas mucho menores y pendientes muy superiores a mayores velocidades. Ello se traduce también en unos costes mucho menores de la infraestructura necesaria, toda vez que no se precisa una línea catenaria. A todo esto hay que añadir que



produce menor contaminación acústica. Los trenes magnéticos son los más rápidos del mundo, porque no son frenados por la fricción de los raíles, sino que se desplazan sobre ellos sin tocarlos.

Esta técnica se emplea, por el momento, y en fase casi de ensayo, en Japón, Alemania, Inglaterra, Holanda y Estados Unidos. La única línea comercial existente en el mundo es la de Shanghai, une el aeropuerto de Pudong con el centro de la ciudad, tiene una longitud de 32 Kilometros, y circula a una velocidad máxima de 430 km/h.

El 4 de junio de 2007, en los medios de comunicación españoles se publica que la Comunidad de Madrid pretende realizar un par de líneas de tren de levitación magnética, conocidas como tren bala, que unan el aeropuerto de Barajas con la zona de Campamento, al oeste de la ciudad, así como otra línea que recorra el corredor del Henares, desde Alcalá hasta Chamartín en pocos minutos.

2.2 LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD

2.2.1 LÍNEAS EN SERVICIO

En la tabla 2.1. se muestran todas las líneas que actualmente se encuentran en servicio en España:

Tabla 2.1. Líneas de Alta Velocidad actualmente en servicio en España.

Línea	Ciudades que conecta	Entrada en servicio
Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía / Corredor Sur		
L.A.V. Madrid-Sevilla	Madrid · Ciudad Real · Puertollano · Córdoba · Sevilla	1992
L.A.V. Córdoba-Málaga	Córdoba · Puente Genil-Herrera · Antequera	2006
	Antequera · Málaga	2007
L.A.V. Madrid-Toledo	Madrid · Toledo	2005
Corredor Noreste		
L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona	Madrid · Guadalajara-Yebes · Calatayud · Zaragoza · Lérida	2003
	Lérida · Camp de Tarragona	2006
	Camp de Tarragona · Barcelona-Sants	2008
L.A.V. Figueras-Perpiñán	Figueras · Perpiñán	2009
L.A.V. Zaragoza-Huesca	Zaragoza · Tardienta · Huesca	2005
Corredor Norte		
L.A.V. Madrid-Segovia-Valladolid	Madrid-Chamartín · Segovia-Guiomar · Valladolid-Campo Grande	2007
Corredor Mediterráneo		



Línea	Ciudades que conecta	Entrada en servicio
Varios tramos aptos 220km/h	Tarragona · Castellón · Valencia · Alicante	1996-2006
Corredor de Levante		
Varios tramos aptos 220km/h	Alcazar de San Juan · Albacete · Corredor Mediterráneo	1996-2006

2.2.2 LÍNEAS EN CONSTRUCCIÓN (2010)

En la tabla 2.2. se muestran todas las líneas que actualmente se encuentran en fase de construcción en España:

Tabla 2.2. Líneas de Alta Velocidad actualmente en fase de construcción en España.

Línea	Ciudades que conecta	Apertura prevista
Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía / Corredor Sur		
L.A.V. Sevilla-Cádiz	Sevilla · Jerez de la Frontera · Cádiz	2012
L.A.V. Madrid-Jaén	Madrid · Alcázar de San Juan · Linares · Jaén	2013
Eje Ferroviario Transversal	Sevilla · Marchena · Osuna · Antequera-Santa Ana · Granada	2013
L.A.V. Bobadilla-Algeciras	Antequera-Santa Ana · Ronda · Algeciras	2014
Corredor de la Costa del Sol	Nerja · Málaga · Marbella · Estepona · Algeciras	2014
Corredor Noreste		
L.A.V. Barcelona-Frontera Francesa	Barcelona-Sants · Barcelona-Sagrera · Girona · Figueras	2012
Corredor Norte		
L.A.V. Valladolid-Burgos-Vitoria	Valladolid-Campo Grande · Burgos · Miranda de Ebro · Vitoria	2014
Y Vasca	Vitoria · Bilbao · San Sebastián · Irún · Frontera Francesa	2013
L.A.V. Venta de Baños-León-Gijón	Venta de Baños · León · Oviedo · Gijón	2013
Corredor Noroeste		
L.A.V. Olmedo-Zamora-Galicia	Olmedo · Medina del Campo · Zamora · Puebla de Sanabria · Orense · Santiago de Compostela	2012
Eje Atlántico de Alta Velocidad	Frontera portuguesa · Vigo · Pontevedra · Santiago de Compostela · La Coruña · Ferrol	2012
Corredor Levante		
L.A.V. Madrid-Valencia	Madrid · Cuenca · Valencia	2010



Línea	Ciudades que conecta	Apertura prevista
L.A.V. Madrid-Alicante	Motilla del Palancar · Albacete · Corredor Mediterráneo	2012
Corredor Mediterráneo		
L.A.V. Tarragona-Valencia	Camp de Tarragona · Castellón · Valencia	2014
L.A.V. Valencia-Alicante	Valencia · Alicante	2012
L.A.V. Alicante-Murcia-Cartagena	Alicante · Elche · Murcia · Cartagena	2014
L.A.V. Murcia-Almería	Murcia · Almería	2014
Corredor Suroeste		
L.A.V. Madrid-Extremadura-Lisboa	Madrid · Talavera · Plasencia · Cáceres · Mérida · Badajoz · Frontera Portuguesa	2013

2.2.3 LÍNEAS PROYECTADAS (2020)

Se prevé un aumento de la oferta geográfica de AVE, aprovechando la puesta en marcha de nuevas líneas de alta velocidad por parte de ADIF, según el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT), que culminará en 2020, y que pretende cubrir toda la Península Ibérica, llegando a los 10.000 km de líneas de alta velocidad. En la tabla 2.3. se muestran todas las líneas que actualmente se encuentran en fase de proyecto en España:

Tabla 2.3. Líneas de Alta Velocidad actualmente en fase de proyecto en España.

Línea	Ciudades que conecta	Estado
Nuevo Acceso Ferroviario a Andalucía / Corredor Sur		
L.A.V. Córdoba-Jaén	Córdoba · Jaén	2020
L.A.V. Jaén-Granada	Jaén · Granada	2020
Eje Ferroviario Transversal	Frontera Portuguesa · Huelva · Sevilla	2020
	Granada · Almería	2020
Túnel de Gibraltar	San Fernando · Chiclana de la Frontera · Algeciras · Facinas · Marruecos	2020
Corredor Noreste		
L.A.V. Soria-Calatayud	Soria · Calatayud	2020
Travesía Central Pirenaica	Huesca · Frontera Francesa	2020
Eje transversal de Cataluña	Lérida · Manresa · Gerona	2020
Corredor Cantábrico-Mediterráneo		



Línea	Ciudades que conecta	Estado
L.A.V. Zaragoza-Teruel-Sagunto	Zaragoza · Teruel · Sagunto	2020
L.A.V. Zaragoza-Castejón-Pamplona/Logroño	Zaragoza · Castejón · Pamplona · Logroño	2020
L.A.V. Logroño-Miranda de Ebro	Logroño · Miranda de Ebro	2020
Conexión Pamplona-Y Vasca	Pamplona · Y Vasca	2020
L.A.V. Bilbao-Santander	Bilbao · Santander	2020
Corredor Norte		
L.A.V. Palencia-Santander	Palencia · Santander	2020
Corredor Noroeste		
L.A.V. Madrid-Ávila-Salamanca-Zamora-León-Asturias	Madrid · Ávila · Salamanca · Zamora · Benavente · Astorga · León · Oviedo · Gijón · Avilés	2020
L.A.V. Medina-Salamanca-Frontera Portuguesa	Medina del Campo · Salamanca · Frontera portuguesa	2020
L.A.V. SubCantábrica	León · Ponferrada · Monforte de Lemos · Lugo · La Coruña	2020
Eje interior de Galicia	Vigo · Orense · Monforte de Lemos	2020

2.3 LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD

Se conoce como catenaria, en el lenguaje ferroviario, a la línea que suministra energía al tren a través de un captador móvil denominado pantógrafo (*Figura 2.6*). Ni la línea tiene la forma de una catenaria ni el captador cumple funciones de multiplicación de dimensiones, pero los años de utilización de estos términos hacen inútil cualquier esfuerzo por cambiar sus nombres por otros más adecuados.



Figura 2.6. Imagen Catenaria Tren Alta Velocidad.



El estudio y diseño de catenarias es un trabajo multidisciplinar que requiere conocimientos y estudios eléctricos, mecánicos, medioambientales y reglamentarios que exigen, en muchos casos, el empleo de medios informáticos avanzados y el esfuerzo conjunto de equipos de ingeniería bien coordinados, particularmente en las líneas de alta velocidad en las que los requerimientos son más estrictos.

En efecto, una catenaria de alta velocidad es una línea eléctrica que suministra a los motores del tren potencias muy elevadas mediante el rozamiento de una pletina conductora a velocidades muy altas. La línea Madrid-Barcelona, por ejemplo, está equipada con una catenaria que puede alimentar trenes de 20.000 KVA a velocidades de 350 km/h. Para que esto sea posible y además la instalación sea duradera es preciso que el contacto con la línea sea continuo, sin interrupciones de contacto y con presiones de contacto no muy elevadas para evitar el desgaste acelerado de la línea.

A continuación se repasarán los distintos aspectos que es preciso considerar en el diseño de una catenaria así como los métodos y soluciones que pueden emplearse.

2.3.1 EL ENTORNO

Las facetas del entorno que influyen en la catenaria son:

- La climatología, particularmente el hielo, el viento y el nivel isoceráulico (numero promedio de días al cabo del año en los que hay tormenta)
- La infraestructura de vía, es decir curvas y pendientes.
- La infraestructura energética del territorio, es decir, las líneas existentes en la zona y la potencia de cortocircuito en los puntos de alimentación.
- La contaminación atmosférica.

Todos estos factores deben tenerse en cuenta en el diseño de los elementos, tanto desde el punto de vista eléctrico como mecánico, según se indicará en los apartados correspondientes.

La catenaria, por su parte, también influye en el entorno, particularmente las catenarias de alta velocidad ya que a velocidades inferiores a los 200 km/h las potencias a conducir disminuyen considerablemente. Estas influencias son:

- Sobre las aves, que en zonas ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) y de paso pueden chocar con los conductores originando muertes de aves y averías en la línea, particularmente en épocas de grandes concentraciones, como los estorninos en otoño, que producen cortocircuitos instantáneos al formarse cadenas de pájaros que puentean aisladores.
- Sobre las líneas paralelas a su trazado, particularmente de baja tensión y telefónicas no digitalizadas, pues las elevadas intensidades pueden inducir tensiones que es preciso tener en cuenta.
- Sobre personas y animales que puedan transitar por las inmediaciones de los elementos de la línea, postes principalmente, en que las tensiones de paso y contacto que se originan en casos de avería pueden resultar peligrosas.



Al igual que las influencias del entorno sobre la línea, los efectos que produce la línea en sus alrededores deben tenerse en cuenta al estudiar la línea desde el punto de vista eléctrico y mecánico.

2.3.2 LOS REGLAMENTOS

Los efectos que en uno y otro sentido se producen entre catenaria y entorno se recogen normalmente en los reglamentos nacionales y, en Europa, en las normas CENELEC, particularmente en la EN 50125 [UNE-EN-50125, 2005] sobre Condiciones Medioambientales, EN 50122 [UNE-EN-50122, 2004] sobre Protecciones, EN 50124 [UNE-EN-50124, 2003] sobre Coordinación de Aislamiento y EN 50119 [UNE-EN-50122, 2002] que indica los valores que deben cumplir los distintos parámetros de la catenaria.

Aparte de las anteriores, deben considerarse también las normas EN 50149 [UNE-EN-50149, 2007] sobre Normalización y Características del Hilo de Contacto, EN 50163 [UNE-EN-50163, 2006] sobre Suministro de Tensión a Instalaciones de Tracción y EN 50367 [UNE-EN-50367, 2008] sobre Interacción Dinámica entre Catenaria y Pantógrafo. También existen varias publicaciones de la UIC que es conveniente consultar aunque no suelen ser de obligado cumplimiento.

En líneas que han de ser circuladas por trenes internacionales que atraviesan fronteras europeas, es de aplicación la Especificación Técnica de Interoperabilidad (ETI) que indica determinadas características que deben cumplir las líneas para que cualquier tren autorizado pueda circular fuera de sus fronteras sin problemas.

Con independencia de lo anterior deben tenerse en cuenta las normativas nacionales que, en algunos casos, recogen condicionantes particulares de cada país y el Eurocódigo que da normas de cálculo aplicables en Europa. En particular, el Eurocódigo indica, y la nueva versión de la Norma EN 50119 [UNE-EN-50119, 2002] lo recoge, el doble modo de considerar los esfuerzos sobre los elementos:

- Límite de rotura: es decir, deben considerarse los esfuerzos que pueden producir la ruina de la instalación, comparados con la resistencia de la instalación a esa ruina. Como efectos variables deben considerarse el hielo y el viento con periodo de retorno de 50 años.
- Límite de servicio: deben considerarse qué esfuerzos pueden dejar a la instalación fuera de servicio. Son esfuerzos que pueden deformar los cables de modo que el hilo de contacto quede fuera del pantógrafo.

La resistencia a considerar es el límite elástico de los elementos, que al producir deformaciones permanentes podría inutilizar la operatividad de la línea.

2.3.3 ASPECTOS ELÉCTRICOS

Tal como se ha indicado anteriormente, la línea está influida por la infraestructura energética del entorno y debe tener en cuenta sus efectos sobre el mismo. Además la línea debe cumplir con el fin para el que se instala, es decir, debe ser capaz de conducir la energía necesaria sin calentamientos de los conductores excesivos y debe mantener una tensión en el pantógrafo, que de acuerdo con la Especificación Técnica de Interoperabilidad, debe ser superior a los 19 kV en condiciones normales y



debe mantenerse en condiciones degradadas entre 17 y 19 kV durante un periodo no superior a 2 minutos.

Por lo tanto deben conocerse con exactitud los valores de potencias necesarias y sus efectos. Los datos que deben conocerse que afectan a potencias y otros parámetros eléctricos son:

- Curva de tracción del tren: indica, a cada velocidad, la fuerza de tracción en llanta que el tren es capaz de desarrollar.
- Rendimiento mecánico del tren: para transformar la potencia en llanta en potencia en pantógrafo.
- Curva de resistencia al avance del tren.
- Tráfico de trenes: para determinar la posición de cada tren en cada momento.
- Posición de las subestaciones de alimentación y potencia de cortocircuito de la red de alimentación en esos puntos.

Con los datos anteriores, y contando con un simulador de tráfico, hay que determinar:

- Potencia a suministrar por cada subestación, en valores medios cuadráticos, medios y máximos instantáneos.
- Potencia instantánea en cada tren en cada instante.
- Disposición y características de conductores de la catenaria, tanto positivos (sustentadores, hilos de contacto y feeders de aumento de sección) como de retorno (carriles, cable de retorno) y negativos en el caso de alimentación en 2x25kV (tipo de alimentación de catenaria que se explicará mas detalladamente en el **Capítulo 4**)

Con estos primeros datos puede conocerse si la relación potencia de cortocircuito de cada subestación a potencia a suministrar es suficiente para garantizar que los desequilibrios de fases no afecten a la calidad de servicio de la red. Si no lo fuera, sería preciso modificar el tráfico o la posición de subestaciones para disminuir la potencia a suministrar o modificar la infraestructura de líneas para aumentar la potencia de cortocircuito.

A continuación, conocida la potencia solicitada por los trenes y contando con un simulador de comportamiento eléctrico debe determinarse:

- Impedancia de la catenaria.
- Intensidades medias cuadráticas en cada conductor y en tierra.
- Tensión en el pantógrafo en cada instante y en cada tren.
- Tensiones de paso y contacto.
- Impedancia mutua respecto a conductores paralelos.
- Tensiones inducidas en conductores paralelos.



Cuando los valores obtenidos son admisibles, puede considerarse que la estructura de cables y el sistema de alimentación son válidos. En caso contrario, es preciso modificar alguna de sus características.

Todos los factores eléctricos de la catenaria se explicarán mas detalladamente en el *Capítulo 4. Sistema de Alimentación de la Catenaria*

2.3.4 ASPECTOS MECÁNICOS

Una vez que el estudio eléctrico ha determinado la composición y secciones de los conductores de la catenaria es preciso acometer el diseño mecánico que debe constar de los siguientes pasos:

1. Determinación de los vientos en la zona recorrida por la línea. Con estos datos y las indicaciones del Eurocódigo y de la Norma EN 50119 se determina el valor de las presiones de viento sobre conductores y sobre estructuras en los dos casos de límite de rotura y de límite de servicio.
2. Determinación de los vanos (Distancia entre postes contiguos de la catenaria) a emplear en recta y en curvas de distintos radios, de modo que con las presiones de viento calculadas para un solo vano, ver que no de lugar a deformaciones del hilo de contacto tales que pueda quedar fuera de la zona barrida por el pantógrafo y de acuerdo con las normas.
3. Determinación de las tensiones de los cables de la catenaria. Este punto es uno de los más delicados porque afecta al comportamiento dinámico de la catenaria. Es aconsejable, en una primera fase, escoger tensiones que cumpliendo con la norma EN 50119 cumplan también con las indicaciones de la norma UIC 799. **[UIC 799 OR, 2000]** Con estos valores debe comprobarse en un simulador de interacción catenaria-pantógrafo que se cumplen las exigencias de la ETI y demás normas de obligado cumplimiento en cuanto se refiere a presiones máximas entre pantógrafo y catenaria y a deformaciones del hilo al paso del pantógrafo, con un solo pantógrafo y con dos pantógrafos.

Debe contemplarse que el pantógrafo cumple con los condicionantes de la ETI.

4. Determinación de las tensiones de los cables no compensados, es decir *feeders* y cables de retorno, de acuerdo con la norma EN 50119.
5. Determinación de la resistencia y deformación de los postes, para lo que previamente se ha debido diseñar el tipo de poste a emplear. Como ejemplo, en Alemania se emplean postes de hormigón, en Francia postes de doble T y en España postes de presillas o diagonales. Esta resistencia debe calcularse en los dos casos de límite de rotura y de límite de servicio.
6. Determinación de la cimentación a emplear para cada tipo de poste, para lo que previamente debe decidirse si se emplean cimentaciones hincadas, perforadas o rectangulares.

Debe comprobarse, como seguridad, que aun en el caso de límite de rotura el posible giro de la cimentación sea inferior a 0,01 radianes.



7. Determinación de los esfuerzos que se transmiten a los postes en cada tipo de utilización y tanto para límite de rotura como para límite de servicio, y asignación del tipo de poste más adecuado de acuerdo con los cálculos realizados en el paso número 5.
8. A partir de este momento viene la parte más ardua, que consiste en diseñar cada una de las piezas a emplear en el montaje de la instalación que permita que la catenaria se pueda instalar de modo que resulte de fácil montaje, de fácil mantenimiento, de gran duración, y además que su coste no sea muy elevado.

En cualquier caso, no existen dos instalaciones de catenaria exactamente iguales y en cada instalación hay que ingeniar soluciones variadas para resolver las variadas situaciones que se presentan, como son túneles de diferentes gálibos, agujas de diferente geometría, combinaciones de alturas de todos los calibres, etc.

9. Una vez diseñado la instalación se replantea sobre plano la instalación y se calculan las ménsulas y las péndolas para que la instalación pueda construirse.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

3. *CONCEPTOS FERROVIARIOS*

CAPÍTULO 3

CONCEPTOS FERROVIARIOS. INFRAESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA



3 CONCEPTOS FERROVIARIOS: INFRAESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA

3.1 LA VÍA FERROVIARIA

La definición clásica de la vía ferroviaria incluye, no sólo lo que denominamos camino de rodadura sino además las instalaciones necesarias para la explotación (electrificación, señalización y seguridad y comunicaciones)

Se distinguen dentro del camino de rodadura dos partes diferenciadas:

Infraestructura: Conjunto de obras (terraplenes, trincheras, puentes, etc) necesarios para construir la explanación o plataforma.

Superestructura: Conjunto de elementos que transmiten las cargas a la explanación y sobre los que directamente se realiza la circulación del material móvil.

3.1.1 ANCHO DE VÍA.

Con la aparición de la Revolución Industrial se hizo necesaria la interconexión de las líneas ferroviarias con objeto de que el material remolcado, incluso en algunos casos el motor, pudiera pasar de unas redes a otras. Estas razones impusieron la adopción de un ancho estándar de vía (1.435 mm.), el cual se utiliza en las líneas de alta velocidad española. Al ancho de 1.435 mm. se le denominó ancho normal, existiendo en relación a éste, ferrocarriles de vía estrecha (con este ancho) y otros de vía ancha.

En España coexisten en la actualidad a nivel Adif, dos anchos distintos; el ancho nacional o ibérico (1.668 mm.), que conforma la Red convencional y también lo tienen los ferrocarriles portugueses; y el ancho internacional (1.435 mm.) utilizado en las líneas de alta velocidad y en la mayor parte de los países europeos.

Para pasar de un ancho al otro se utilizan unas instalaciones llamadas cambiadores, que permiten que el material debidamente preparado para ello pase en breves minutos de uno a otro.

La sinuosidad en los trazados es una de las características de los ferrocarriles españoles. Sin embargo, como dato curioso a este respecto, se puede citar el ferrocarril de San Petersburgo a Moscú, ordenado construir por el Zar Nicolás I, que puso como condición el que fuera en línea recta; siendo uno de los ferrocarriles más rectos del mundo, sólo superado probablemente por un sector del ferrocarril transaustraliano, que tiene un tramo recto de 528 km.

3.2 INFRAESTRUCTURA

La infraestructura es el terreno base sobre el que se asienta la vía; también se denomina explanación o plataforma. La componen, aparte de numerosas obras de defensa (muros de contención y sostenimiento,

drenajes, saneamientos, etc.), las denominadas obras de fábrica (túneles, puentes, viaductos, pasos a distinto nivel, etc.).

3.2.1 OBRAS DE FÁBRICA

Se denominan así aquellas que se realizan para salvar los obstáculos naturales del terreno. Entre ellas se pueden citar:

- Viaductos: utilizados cuando la distancia a cubrir es grande, debido a depresiones del terreno (figura 3.1).



Figura 3.1. Ejemplos de Viaductos

- Puentes: son obras de fábrica o metálicas realizadas para salvar la dificultad de la orografía, con luz superior a ocho metros.
- Pasos a distinto nivel: tanto superiores como inferiores que permiten el cruce entre distintos viales ya sean carretera-ferrocarril o ferrocarril-ferrocarril.
- Pasos a nivel: aunque realmente no es una obra de fábrica pues el cruce de ambos viales es al mismo nivel, se pueden incluir en este punto.
- Túneles: para el paso por zonas montañosas y para salvar zonas urbanas.

3.2.2 TRAZADO

Se compone de: trazado en planta, trazado en alzado o perfil longitudinal y los perfiles transversales.

- En planta: para proyectar el trazado en planta se utilizan tramos rectos y curvos (arcos de circunferencia). A un tramo recto siempre le sigue uno curvo; y a uno curvo le puede seguir uno recto u otro curvo de diferente radio o dirección.

En el punto de unión del tramo recto con el curvo aparecería instantáneamente la fuerza centrífuga en su máximo valor, originando gran peligro de descarrile para el material y pérdida de confort total para el viajero. Para subsanar este problema se intercalan arcos de unas curvas

llamadas de transición que hacen que la fuerza centrífuga aparezca paulatinamente desde el valor cero al final de la recta, hasta el valor máximo al principio del arco de circunferencia.

Existen diferentes tipos de curvas de transición, pero tanto en carreteras como en ferrocarril se utiliza la denominada Clotoide o Espiral de Cornu (*figura 3.2*), que tiene como principal característica la continua variación del radio, entre otras.

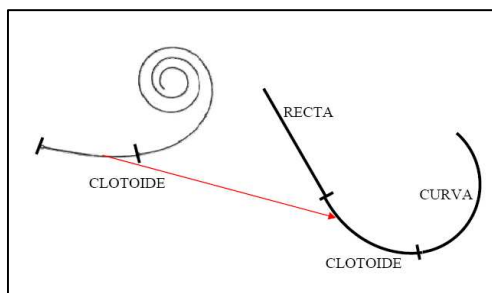


Figura 3.2. Curvas en transición. Clotoide

El mismo procedimiento se utiliza a la salida de las curvas o en la unión de dos curvas de diferente radio de curvatura. Dentro del trazado en planta no se pueden olvidar las curvas, de los peraltes, utilizados para contrarrestar la fuerza centrífuga.

➤ Perfil longitudinal: es una línea que une los diferentes planos denominados rasantes que componen el trazado de la vía, recogiendo las alturas sobre el nivel del mar, con expresión de la declividad en milímetros por metro. Las rasantes pueden ser:

- *Rampa* es el plano inclinado en sentido ascendente según el sentido de circulación.
- *Pendiente* es el plano inclinado en sentido descendente según el sentido de circulación.
- *Horizontal* cuando no tiene declividad alguna.

El punto donde cambia la declividad se denomina *cambio de rasante*. Estos puntos están convenientemente señalizados en la línea férrea y además se indican en los libros horarios de los trenes.

Las distintas rasantes se unen mediante curvas que se denominan acuerdos (*figura 3.3*). Dependiendo de las rasantes que unan se llaman acuerdo convexo (rampa-horizontal, rampa-pendiente) o cóncavo (pendiente-horizontal, pendiente-rampa).

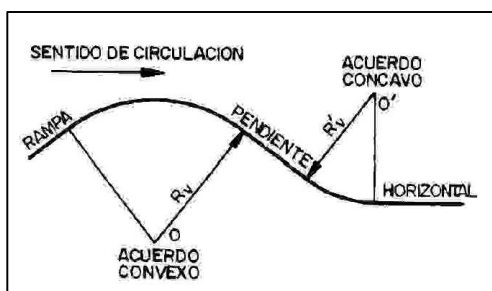


Figura 3.3. Tipos de perfiles longitudinales

➤ **Perfil transversal:** Se define como perfil transversal a la intersección de la plataforma con un plano vertical que es normal, en el punto de interés, a la superficie vertical que contiene el eje del proyecto. Se pueden distinguir diferentes tipos de explanaciones (*figura 3.4*):

- En *trinchera*, en las que es necesario efectuar un vaciado de tierras.
- En *terraplén*, en las que sucede todo lo contrario; necesitan aporte de material.
- *Mixtas*, conjugación de las dos anteriores; se utilizan en vías que discurren por la ladera de una montaña.
- En *línea*, que no requieren más que la correcta nivelación del terreno.

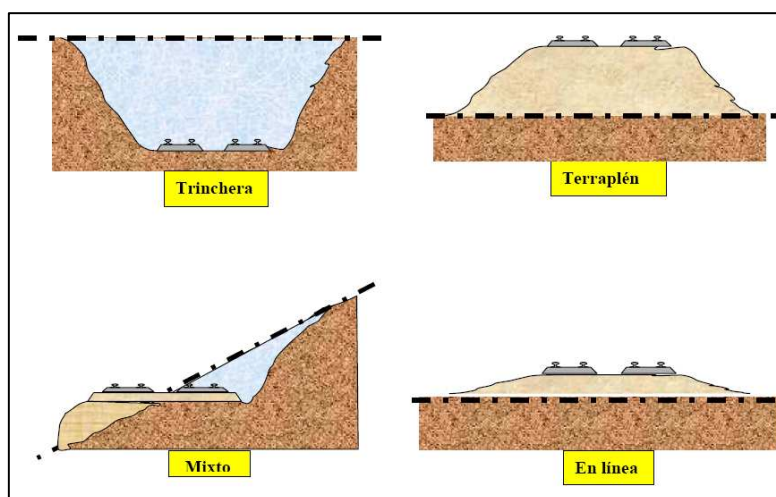


Figura 3.4. Tipos de perfiles transversales

3.3 SUPERESTRUCTURA

La superestructura comprende la vía propiamente dicha y el conjunto de aparatos e instalaciones necesarias para que los trenes puedan circular con garantías de eficacia y seguridad.

3.3.1 Vía

Como primer elemento de la superestructura está la vía con sus componentes.

- **El carril** es una barra de acero laminado con forma de seta, cuya función básica es la sustentación y el guiado de los trenes, sirviendo en algunos casos de retorno de los circuitos eléctricos tanto de la catenaria como del de señales; tiene diferentes pesos por metro lineal y longitudes de hasta 288 metros. En él se pueden distinguir tres partes (*figura 3.5*):
- La superior llamada *cabeza* se utiliza como elemento de rodadura.
 - El *patín* representa la base del carril y sirve para su sujeción a las traviesas.

- El *alma* que es la parte delgada que une la cabeza y el patín.

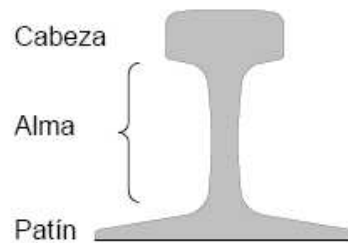


Figura 3.5. Partes del carril

Los carriles se sueldan unos a otros en sus extremos constituyendo una única barra soldada y para compensar los efectos de la dilatación se utilizan las llamadas juntas de dilatación.

- **Las traviesas** son elementos de diversos materiales (madera, hormigón armado, etc.) que situadas en dirección transversal al eje de la vía, sirven de sostenimiento al carril constituyendo el nexo de unión entre éste y el balasto.
- **El balasto** es un elemento granular de silíceo sobre el que se asientan las traviesas, cuya función es amortiguar y repartir los esfuerzos que ejercen los trenes sobre la vía, impedir el desplazamiento de ésta y proteger la plataforma.
- **Los tirafondos y las placas de asiento** son los elementos que fijan el carril a la traviesa y que pueden variar de forma en función del tipo de ésta.

3.3.2 APARATOS DE VÍA

Son los elementos que permiten el desdoblamiento de los carriles mediante unas piezas llamadas **agujas**. Una aguja se compone de una parte fija en la conexión de las dos vías que se llama corazón; y una parte móvil que permite el paso hacia una u otra vía, que se denomina espadín (*figura 3.6*). Dentro de los aparatos de vía se distingue:



Figura 3.6. Componentes de las agujas

- **Los desvíos** que permiten el desdoblamiento de una vía en dos. Los hay de diferentes tipos según la velocidad máxima de paso por ellos; y cuando es necesario compatibilizar los dos anchos de vía, se utilizan los desvíos mixtos (figura 3.7).

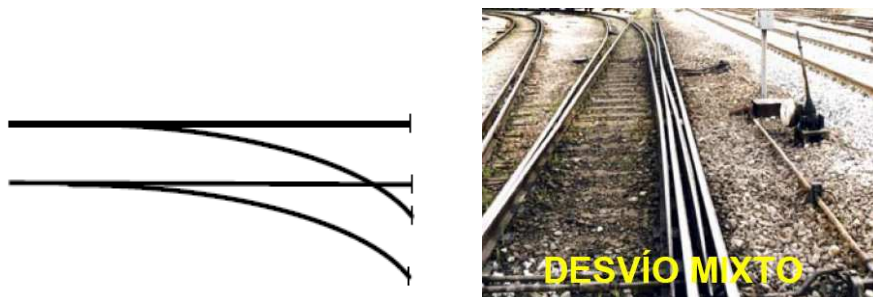


Figura 3.7. Desvío Mixto

- **La travesía** que permite el cruce de dos vías en oblicuo o perpendicularmente con continuidad de sus direcciones respectivas (figura 3.8).

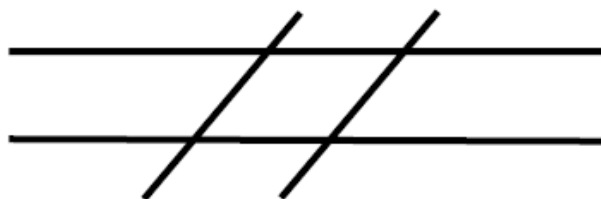


Figura 3.8. Travesía

- **Combinación de aparatos de vía**, lo constituyen como su propio nombre indica la combinación en la instalación de desvíos y travesías: el escape, la diagonal, el haz y el bretelle (figura 3.9).



Figura 3.9. Combinación de aparatos de vía

3.3.3 CAMBIOS DE AGUJAS

Para poder efectuar los cambios de vía a los que se ha hecho referencia, se utilizan los cambios de aguja, entre los que tenemos:

- **Eléctricos:** accionados a distancia desde las estaciones o Centros de Control de Tráfico (CTC) (figura 3.10).



Figura 3.10. Cambio de aguja eléctrico

- **Mecánicos:** accionados desde la estación mediante un cable de acero (figura 3.11).



Figura 3.11. Cambio de aguja mecánico

- **Manuales:** se accionan a pie de cambio. En la imagen (figura 3.12) se puede observar un elemento auxiliar que es el indicador de posición de aguja, que según su posición nos indica si el cambio está hecho a vía directa o a desviada.



Figura 3.12. Cambio de aguja manual

3.3.4 SEÑALES

Son los dispositivos empleados para transmitir mensajes desde la vía, estaciones y trenes. Estos mensajes se transmiten utilizando sonidos, colores y formas, de acuerdo con un código recogido en el Reglamento General de Circulación. Las más usuales son:

- **Semafóricas:** accionadas mecánicamente mediante un cable de acero (*figura 3.13*).
- **Luminosas:** accionadas eléctricamente desde la estación o el CTC. Su aspecto es similar a los semáforos de carretera (*figura 3.14*).
- **Portátiles:** son las que puede utilizar o realizar el personal (normalmente el encargado de la regulación del tráfico) en cualquier momento (*figura 3.15*).
- **De los trenes:** las que estos llevan por cabeza y cola.
- **De limitación de velocidad:** dan ordenes, permanentes (fondo blanco) o temporales (fondo amarillo) (*figura 3.16*).



Figura 3.13 . Semafórica



Figura 3.14 . Luminosas



Figura 3.15 . Portátiles



Figura 3.16 . Limitación velocidad

3.3.5 ELECTRIFICACIÓN

Se define como los elementos a través de los cuales toma corriente el material motor. Es de gran importancia su conocimiento dado su riesgo. Las diferentes instalaciones que la componen son:

- **Subestación:**

Se encarga de transformar y en la mayoría de los casos de rectificar, la corriente procedente de las suministradoras (llega a 30 o 40.000 voltios) para, a través de un conductor auxiliar denominado *feeder*, transportarla al tendido eléctrico, para la correcta alimentación de las circulaciones con tracción eléctrica.

Para mejorar el comportamiento de la línea de contacto (catenaria), se dispone de una conducción en paralelo (línea de refuerzo). Parte de la corriente circula por la línea de contacto, y parte por la

línea de refuerzo, uniéndose cada cierta distancia para mantener un valor más o menos constante de la tensión de catenaria cuando ésta descienda debido a las pérdidas por consumo de los vehículos que se encuentren en el tramo. Por extensión, también a estos cables que discurren de forma paralela a la línea aérea de contacto se les denomina *feeder*.

En la actualidad se utilizan en la Red de Interés General dos tipos de alimentación eléctrica: la de 25.000 voltios en corriente alterna que alimenta las actuales líneas de alta velocidad; y la de 3.000 voltios en corriente continua que alimenta la red convencional.

➤ Columna de electrificación

A continuación se definen los diferentes conjuntos que componen una columna de electrificación y dentro de cada uno de ellos los elementos integrantes.

Conjunto de soporte (sin tensión): (figura 3.17)

- *Postes*: soportes metálicos o de hormigón verticales sobre los que se realiza el montaje de los equipos.
- *Ménsula*: soporte metálico unido al poste, encargado de sostener la catenaria.
- *Tirante*: elemento de unión poste-ménsula que favorece el comportamiento mecánico del sistema.
- *Aislador de suspensión*: pieza de porcelana o vidrio que sirve de aislante eléctrico.

Conjunto de atirantado (con tensión): (figura 3.17)

- *Hilo de contacto o catenaria*: cable del que toma la corriente el pantógrafo.
- *Brazo de atirantado*: nexo de unión entre el hilo de contacto y el soporte, que permite el zigzag de la catenaria, a fin de aprovechar toda la longitud de la pletina del pantógrafo en su roce con la catenaria, haciendo que su desgaste sea uniforme.
- *Soporte de atirantado*: mantiene unido el brazo de atirantado a la ménsula.
- *Aislador de atirantado*: separa eléctricamente el conjunto de atirantado de la ménsula y poste.

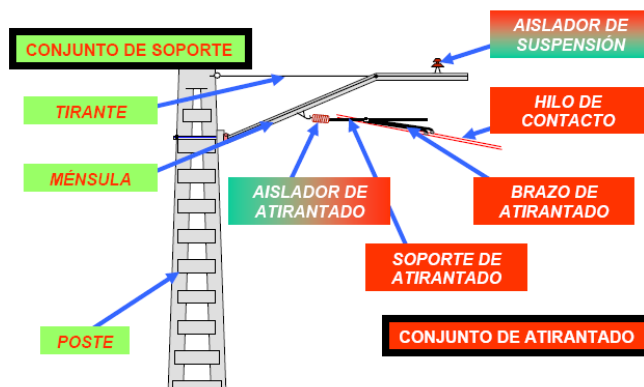


Figura 3.17. Conjunto de soporte y conjunto de atirantado

Conjunto de suspensión (con tensión): (figura 3.18)

Se puede observar en la figura 3.17 con referencia a la ménsula, el conjunto de suspensión que permite el soporte del cable sustentador.

- *Aislador de suspensión*: separa eléctricamente la ménsula del conjunto de suspensión.
- *Hilo sustentador*: conductor que soporta los hilos de contacto de los que el material motor capta la corriente.
- *Péndolas*: conductores que permiten la unión mecánica y eléctrica entre el sustentador y el hilo de contacto, manteniendo éste último en un plano horizontal.

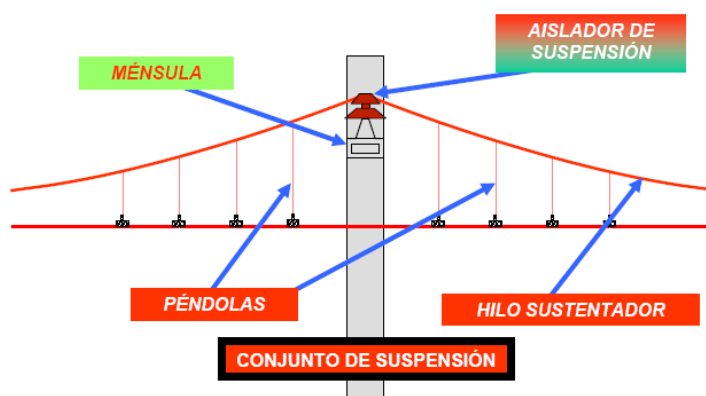


Figura 3.18. Conjunto de suspensión

Conjunto de compensación (sin tensión): (figura 3.19)

Es el encargado de la regulación automática de la tensión mecánica de la catenaria, independientemente de la temperatura ambiental existente. Dicho conjunto está formado por:

- Polea
- Contrapeso
- Aislador



Figura 3.19. Conjunto de compensación

3.4 ENCLAVES FERROVIARIOS

Constituyen las instalaciones necesarias para el funcionamiento del ferrocarril en todas sus facetas y que según el nivel de prestaciones va a recibir una u otra denominación.

3.4.1 ESTACIÓN

Es el conjunto de instalaciones de vías y agujas desde las que se coordina el tráfico ferroviario, tanto de trenes de viajeros como de mercancías y maniobras, y da servicio comercial de todo tipo a los usuarios del ferrocarril.

Hay instalaciones que permiten el control a distancia de varias estaciones de una línea ferroviaria, denominándose a estos puestos, Centros de Control de Trafico Centralizado (CTC).

La regulación del tráfico ferroviario en un trayecto de una línea se realiza desde el Puesto de Mando Local.

3.4.2 APARTADERO

Son estaciones de poco tráfico de viajeros y cuyo objetivo fundamental es la regulación del tráfico ferroviario, posibilitando la realización de cruces de trenes, adelantamientos...

En este apartado hay que destacar los **Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (PAET)** (figuras 3.20 y 3.21) que son apartaderos que permiten el rebase de trenes más lentos. Además se utilizan para necesidades técnicas por razones de mantenimiento y seguridad.

En general se busca un acceso cómodo por carretera para que puedan utilizarse como instalaciones de transbordo a autobuses de los viajeros de un tren inmovilizado por avería o por interrupción de la línea.



Figuras 3.20 . PAET de L'Arboç (Tarragona)



Figuras 3.21 . PAET de Miraflores de la Sierra (Madrid)

En las vías banalizadas (aquellas que cuentan con señalización en ambos sentidos de la marcha) el **Puesto de Banalización (PB)** (figuras 3.22) es el conjunto de instalaciones que tiene como misión el permitir, mediante los correspondientes escapes protegidos por señales, el cambio de vía de circulación de los trenes.



Figuras 3.22. Ejemplo de Puesto de Banalización (PB)

3.4.3 APEADERO

Son dependencias con servicio exclusivo para la subida y bajada de viajeros. Son muy habituales en los grandes núcleos de población y no tienen personal.

3.4.4 CARGADERO

Son instalaciones de vías de carga y descarga de vagones con enlace a una línea mediante una o más agujas de plena vía.

3.4.5 TERMINALES DE MERCANCÍAS

Son estaciones que, aparte de regular el tráfico, tienen como misión principal la prestación de servicios de mercancías.

Disponen de todas las instalaciones necesarias para la recepción, clasificación y formación, y expedición de los trenes de mercancías convencionales, que circulan entre ellas y/o a otros destinos nacionales e internacionales.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

4. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE
CATENARIA

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE LA CATENARIA



4 SISTEMA DE ALIMENTACION DE LA CATENARIA

El sistema de alimentación a la catenaria adoptado en este proyecto es el denominado 2x25 kV, 50 Hz. En este capítulo se pretende justificar la elección de este tipo de alimentación, además de conocer cuáles son los componentes que lo forman para posteriormente poder calcular los esfuerzos mecánicos que generan.

4.1 SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN MONOFÁSICA A 25 KV, 50 HZ

Según los estudios realizados, debido a la elevada potencia que demandan los trenes de alta velocidad, es necesario alimentar la catenaria con la máxima tensión posible al objeto de reducir la corriente demandada por los trenes. En las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad para los ferrocarriles de alta velocidad se ha adoptado la tensión de 25 kV, en sus configuraciones de 1x25 kV y 2x25 kV.

En términos generales este sistema consta de:

- Alimentación de las subestaciones de tracción mediante dos fases del sistema trifásico de la red de alta tensión primaria. Preferiblemente a tensión eléctrica igual o superior a 220 kV.
- Sistema de subestaciones equipadas con transformadores con regulación automática de tensión de salida a catenaria en función de la carga monofásica y por fluctuación de la tensión primaria.
- Alimentación de catenaria en corriente alterna monofásica con tensión de 25 kV respecto al carril y frecuencia industrial de 50 Hz. Se admite hasta una tensión eléctrica mínima permanentemente de 19 kV en el pantógrafo de los trenes y de 17,5 kV, siempre que no discurren más de diez minutos, de acuerdo con la norma EN 50.163 [UNE-EN-50163, 2006]
- Instalación de puestos de puesta en paralelo de las líneas aéreas de contacto, en el caso de doble vía.
- Cada sección de línea aérea de contacto, alimentada por una subestación, se aísla eléctricamente de la subestación colateral mediante una zona neutra de separación entre fases eléctricas, que se suele ubicar equidistante de aquellas.

En este sistema se tienen dos opciones de alimentación de la línea aérea de contacto denominadas 1 x 25 kV y 2x 25 kV.

- En el sistema de alimentación en 1x25 kV el primario del transformador de potencia de la subestación se conecta a dos fases de la línea de alta tensión, y una salida del secundario a la catenaria y otra al carril, encontrándose la subestación situada en el centro del tramo, como puede observarse en la figura 4.1. La energía para alimentar a todos los trenes debe pasar por toda la línea a 25 KV.
- El otro sistema de alimentación en 2x25 kV empezó a utilizarse en los casos en los que la infraestructura de líneas del territorio no era muy potente y, además, era difícil el tendido de líneas eléctricas por problemas ecológicos. Las características de este sistema son que el

transformador principal tiene un secundario con toma intermedia y necesita que cada 10 ó 15 km se instale un autotransformador, como puede observarse en la figura 4.2.

En el sistema 2x25 se emplea un transformador de 50 KV con una toma central y se conecta un extremo a catenaria y el otro a un *feeder* auxiliar denominado *feeder* negativo. El punto del centro se conecta al carril.

En este sistema se colocan autotransformadores cada determinado espacio. La energía del tren o trenes situados en el módulo entre dos autotransformadores se conduce a 25 KV mientras que la energía de trenes situados fuera de ese módulo se conduce hasta el módulo en que se encuentran a 50 KV; por tanto, con la mitad de intensidad y la mitad de caída de tensión.

Además, por el *feeder* negativo circula una corriente igual y contraria a la que circula por la catenaria, en los tramos exteriores al módulo en que se encuentra el tren, con lo que los efectos de la inducción de las corrientes por catenaria se contrarrestan con los efectos de las corrientes por el *feeder* negativo.

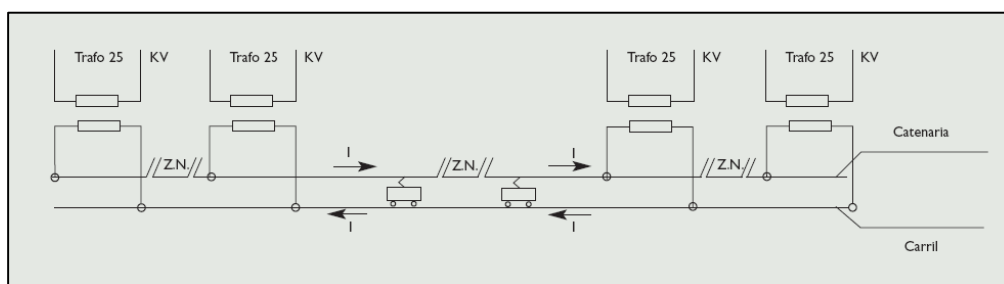


Figura 4.1. Sistema de alimentación en 1x25 kV

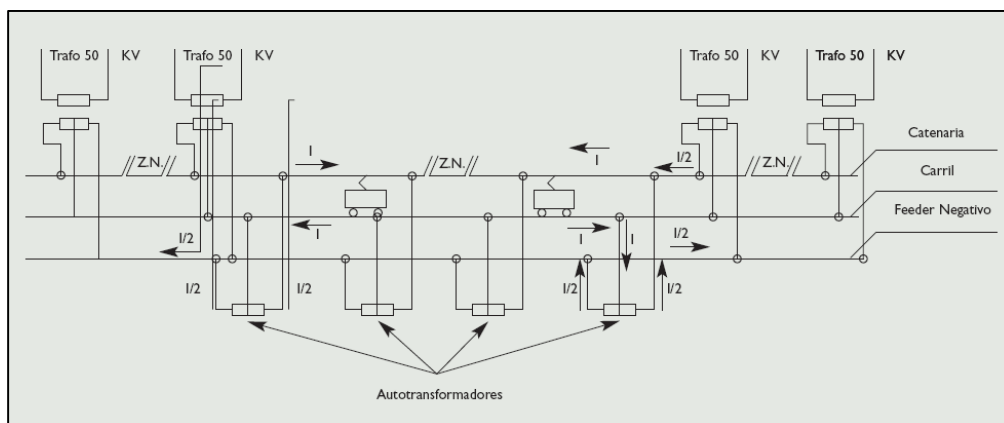


Figura 4.2. Sistema de alimentación en 2x25 kV

Las Figuras 4.1 y 4.2 indican el esquema de una línea entre dos subestaciones con el sistema 1x25 y 2x25, indicando las intensidades que circulan por catenaria y por el *feeder* negativo.

Del mismo modo que se emplea un transformador de 50 KV con una toma central, podría emplearse un transformador de tensión triple o cuádruple, con lo que se disminuirían aún más las corrientes en catenaria y sería posible situar las subestaciones más alejadas.

A continuación se describen los dos sistemas de alimentación mencionados.

4.1.1 ALIMENTACIÓN EN 1X25 KV

A lo largo de la línea férrea se instalan subestaciones de tracción, separadas del orden de 35 km

La subestación (*figura 4.3*) dispone de dos transformadores, cada uno de ellos con una potencia máxima estimada de 30 MVA, con entrada en alta tensión monofásica que pueden ir conectados, lado alta tensión, a distintas fases eléctricas de la red trifásica.



Figura 4.3. Ejemplo de subestación eléctrica de tracción.

En este sistema se emplea un conjunto de conductores directamente a la tensión de alimentación al material rodante, y un segundo conjunto de conductores puestos a tierra para el circuito de retorno con objeto de mejorar la calidad del circuito eléctrico.

Características principales del sistema:

- Tensiones en AT de 132 y 220 KV.
- Subestaciones cada 30-40 Km.
- Subestaciones situadas en el centro del tramo.
- Alimentación en punta 20 Km.
- Zonas neutras de cambio de fase entre subestaciones.
- Desequilibrios en la red de AT.

4.1.2 ALIMENTACIÓN EN 2X25 Kv

A lo largo de la línea férrea se instalan subestaciones de tracción, separadas del orden de 70 km entre sí.

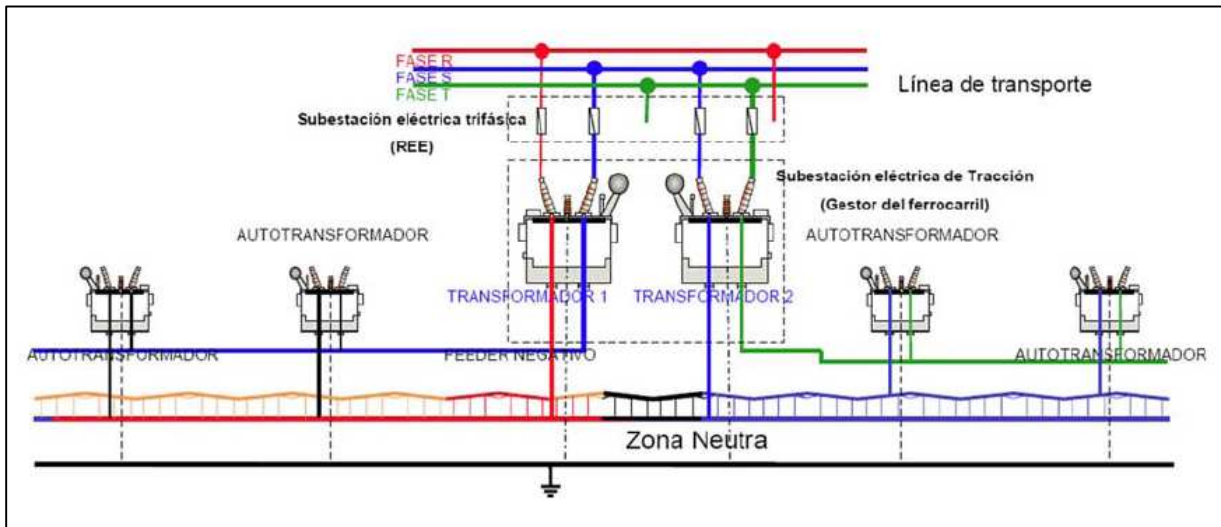


Figura 4.4. Sistema de alimentación en 2x25 kV

Las subestaciones disponen de dos transformadores (*figura 4.4*), cada uno de ellos con una potencia máxima estimada de 30 MVA, con alimentación de entrada en alta tensión monofásica y salida en monofásica a 50 kV.

En el lado de salida, los transformadores disponen de una toma, en el punto central del arrollamiento del secundario, conectada al carril de cada vía y a tierra. Una de las salidas del secundario, con tensión de 25 kV, alimenta a la línea aérea de contacto. La otra salida, con tensión a -25 kV y en oposición de alternancia con la anterior, alimenta a un *feeder* que discurre a lo largo de la línea ferroviaria.

A lo largo de la citada línea, cada 10 km, se instalan autotransformadores (*figura 4.5*), 10 MVA, conectados a la línea aérea de contacto y al *feeder*, con toma central a la vía.



Figura 4.5. Centro de Autotransformación



Los autotransformadores aseguran la distribución de la corriente, absorbida por el vehículo motor, entre línea aérea de contacto y *feeder* negativo. En todo caso el vehículo motor está alimentado a 25 kV entre la línea aérea de contacto y la vía. De esta manera, sólo una parte de la corriente que consume el tren tiene que recorrer todo el camino entre la subestación y el propio tren. Además, por el *feeder* negativo circula una corriente igual y contraria a la que circula por la catenaria, en los tramos exteriores al módulo en que se encuentra el tren, con lo que los efectos de la inducción de la corriente por catenaria se contrarrestan con los efectos de las corrientes por el *feeder* negativo.

La corriente absorbida por el tren se distribuye como sigue:

- En el trayecto entre subestación y autotransformadores, entre los que no se encuentre intercalado el tren, la corriente se distribuye entre línea de alimentación y *feeder*. La potencia se transmite a la tensión de 50 kV.
- En el trayecto comprendido entre los autotransformadores donde está intercalado el tren, se efectúa una alimentación bilateral al vehículo motor, siendo la corriente en la línea aérea de contacto y el carril, inferiores a las absorbidas por el tren.

Características principales del sistema:

- Tensiones en AT de 220 y 400 KV.
- Subestaciones cada 60-80 Km.
- Autotrafos cada 10-15 Km.
- Trafos de una subestación conectados a distintas fases.
- Alimentación en punta 30-40 Km.
- Zonas neutras de cambio de fase entre y frente a subestaciones, cada 30-40 Km.
- Desequilibrios en la red de AT.
- Menores caídas de tensión en catenaria que en el sistema de 1x25 KV.
- Catenarias en paralelo a través de los autotransformadores.
- Rotación de fases igual que en el sistema de 1x25 KV.
- Menores perturbaciones a otros sistemas.

4.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS 1X25 Y 2X25 KV

Una vez estudiadas las dos alternativas de alimentación, se expone un estudio comparativo de ambos sistemas desde el punto de vista económico, medioambiental, eléctrico y de mantenimiento de las instalaciones.

4.2.1 CRITERIO ECONÓMICO

Inicialmente el sistema 2x25 kV necesita una mayor inversión en equipos, por un lado, al coste de las subestaciones de tracción hay que sumarle el de los centros de autotransformación asociados, por otro al ser subestaciones de mayor potencia, el coste de las protecciones es mayor. Sin embargo, al estar mas espaciados los puntos de suministro de energía eléctrica a la línea aérea de contacto, el número de subestaciones necesarias es menor.

Desde el punto de vista de la catenaria, el coste por kilómetro de catenaria 2x25 KV se encarece respecto al del sistema de 1x25 debido a la existencia del *feeder* negativo. Sin embargo, es cierto que para este último sistema el número de zonas neutras es mayor así como el número de seccionadores necesarios para operar la línea, de manera que la diferencia de coste por kilómetro de catenaria entre ambos sistemas no es discriminante.

Uno de los factores que encarece considerablemente ambos sistemas es la situación de las líneas de alta tensión de las que debe alimentarse cada una de las subestaciones de tracción, en este sentido en zonas poco malladas, el sistema de 1x25 se encarecería considerablemente más respecto al de 2x25, ya que por un lado el número de acometidas necesarias es mayor al ser mayor el número de subestaciones y además la configuración propia del sistema 1x25 permite menos margen a la hora de ubicar las subestaciones.

En la figura 4.6 se muestra un gráfico donde se representa la inversión necesaria para la electrificación en millones de euros para ambos sistemas en función de los kilómetros de vía doble considerados.

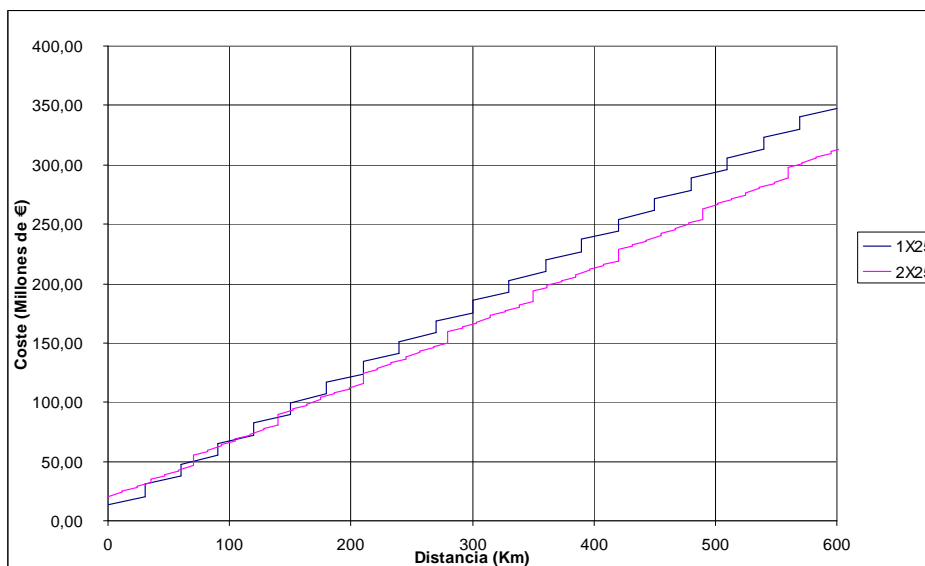


Figura 4.6. Comparativa económica 1x25 kV y 2x25 kV

Como puede observarse para longitudes menores de 100 km aproximadamente el sistema 1x25 es más económico, sin embargo para longitudes mayores el sistema 1x25 se encarece respecto al 2x25. Este gráfico es orientativo, ya que como se ha señalado anteriormente el coste final de la línea vendrá determinado en gran medida por las acometidas necesarias.



4.2.2 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

Desde el punto de vista de impacto medioambiental, al tener el sistema 2 x 25 kV menos subestaciones y por lo tanto menos líneas de acometida, el impacto medioambiental también es menor que el caso del sistema 1 x 25 kV.

4.2.3 CRITERIO ELÉCTRICO

La distribución de corriente en el sistema 2 x 25 kV presenta un menor efecto inductivo y resistivo (carril - tierra) que en la opción de 1 x 25 kV. La corriente de retorno por el carril queda limitada al tramo comprendido entre los autotransformadores en que se encuentra intercalado el tren, ya que en el resto del circuito fundamentalmente circula por el *feeder* conectado a -25 kV en oposición de alternancia (*feeder* negativo). Esto implica una menor contaminación electromagnética del medio con el sistema 2 x 25 kV, sin embargo en el 1x25 la elevada corriente que circula por el terreno provoca perturbaciones en la señalización y comunicaciones, y una alta impedancia. Sería necesario eliminar dichas perturbaciones encareciendo la instalación.

4.2.4 CRITERIO MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Desde el punto de vista de mantenimiento, el sistema 1 x 25 kV presenta una mayor simplicidad lo que implica una mejor mantenibilidad y una menor necesidad de materiales de repuesto que en el caso 2 x 25 kV.

En la tabla 4.1 se muestra una comparativa de ambos sistemas, donde se resumen los aspectos más relevantes de cada uno de ellos.

Tabla 4.1. Comparativa mantenimiento sistemas 1x25 kV y 2x25 kV

FACTORES	SISTEMA 1X25	SISTEMA 2X25
Complejidad de la instalación	BAJA	ALTA
Complejidad del mantenimiento	BAJA	ALTA
Autotransformadores	NO	Cada 10-15 Km
Distancia entre subestaciones. Línea de alta tensión	30-40 Km	60-80 Km
Impedancia de la LAC	ALTA	BAJA
Caída de tensión en la LAC	ALTA	BAJA
Perturbaciones en otras instalaciones	ALTA	BAJA
Pérdidas en la LAC	ALTA	BAJA



4.3 SOLUCIÓN ADOPTADA

Según todo lo indicado en los apartados anteriores y a la vista del trazado de la línea, se ha optado por el sistema de suministro de energía eléctrica a la tracción en 2 x 25 kV. Esta decisión está basada en los siguientes puntos:

- Desde el punto de vista económico, al tratarse de un tramo perteneciente a la LAV Madrid-Galicia, cuya longitud total hasta Orense es de aproximadamente 341 km., se trata de una zona determinante (ver figura 4.6), donde el sistema 2x25 es más económico. Además al ser una zona poco mallada, el sistema 1x25 se encarecería considerablemente por la necesidad de realizar acometidas muy largas.
- Por el mismo motivo, el sistema 2 x 25 kV causa un menor impacto ambiental, ya que el número de acometidas necesarias es menor.
- Las perturbaciones provocadas en la red son menores, así como las caídas de tensión y la impedancia de la línea, por tanto las pérdidas en la catenaria son menores.
- Aunque el mantenimiento de este sistema de 2x25 es más costoso, el resto de puntos anteriores tienen un mayor peso en la toma de la decisión final, además en España excepto en la línea Madrid-Sevilla y en algunos ramales cortos, el sistema 2x25 es el que se ha utilizado.

Por último se establece que el sistema de suministro de energía eléctrica a la tracción deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- La tensión en pantógrafo no debe ser inferior a valores que disminuyan la capacidad de tracción del material motor (19 kV en régimen permanente y 17,5 kV durante un período máximo de 10 minutos).
- La intensidad de suministro no debe sobrepasar los valores máximos admisibles para la catenaria (437 A para el hilo de contacto, cable de cobre de 150 mm² de sección y 400 A para el sustentador, cable de cobre de 95 mm²).



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

5. DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA
DE ALTA VELOCIDAD

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD

5 DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA DE ALTA VELOCIDAD.

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Existen diversos sistemas de explotación para transmitir la corriente eléctrica desde un sistema estático a un tren y mantener dicha alimentación cuando este se ponga en movimiento. Los sistemas comercialmente utilizados se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Mediante tercer carril (*Figura 5.1*)
- Mediante línea aérea

En el primer grupo se pueden englobar todos aquellos que utilizan como elemento activo un conductor situado en las inmediaciones de la vía y a una altura similar a esta. El elemento activo, denominado tercer carril, se encuentra sujeto al suelo, pero aislado de este, y permite que un elemento móvil del tren, denominado patín vaya rozando sobre el, y permita la circulación de la corriente mientras se desplaza.



Figura 5.1. Alimentación mediante tercer carril

Este tipo de alimentación se utiliza en aquellos lugares donde no es frecuente el paso de personas o animales, por el peligro que lleva asociado la existencia de un elemento con tensión, situado a escasa distancia de los carriles. Se utiliza por tanto en algunos ferrocarriles metropolitanos.

El otro gran grupo está formado por los sistemas aéreos de alimentación. Estos sistemas están formados por varios cables situados a una altura determinada sobre el tren y permiten que todo el convoy circule por debajo de el, llevando la locomotora un elemento extensible de captación de corriente, denominado pantógrafo.

La ventaja de este sistema respecto al tercer carril reside en la seguridad que representa frente a contactos accidentales de personas o animales, al estar la línea a una altura aproximada de 5,3 metros sobre los carriles. A este sistema de alimentación aéreo se le denomina globalmente Catenaria y toma dicha palabra de la curva que aproximadamente forman algunos de los cables que conforman el sistema.



Figura 5.2. Alimentación mediante Línea Aérea.

Con la palabra Catenaria se denomina por tanto a todo el conjunto de elementos que constituyen la línea aérea de transporte y suministro de energía eléctrica a los trenes (*Figura 5.2*), que está situada sobre los carriles y en la misma dirección que estos y que suministra la energía eléctrica necesaria mediante un elemento de frotación denominado pantógrafo (*Figura 5.3*).



Figura 5.3. Pantógrafo frotando con la Línea Aérea.

Existe además un tipo especial de alimentación denominada catenaria rígida que se utiliza en aquellos puntos de galibo reducido, y que permiten utilizar el mismo tipo de pantógrafo que el usado para una catenaria normal. Este tipo de catenaria está formado por un perfil de cobre o de aleación de aluminio con una ranura, de tal forma que permite la inserción de los hilos de contacto dentro de dicha ranura.

5.2 ELEMENTOS DE LA CATENARIA

El elemento fundamental de la catenaria, es el cable de frotación con el pantógrafo de la locomotora. A este cable se le denomina hilo de contacto.

Para que el rozamiento entre el pantógrafo y el hilo de contacto sea lo mas homogéneo posible, es necesario que el hilo de contacto mantenga constante su altura respecto a los carriles.

Cuando las velocidades a las que se desplazan los trenes son relativamente bajas, de hasta 40-50 km/h, es suficiente en el montaje de los hilos de contacto, que la diferencia de altura entre los apoyos y el centro del vano sea de 1‰ de la longitud del vano, y con un máximo de 20 cm. Pudiendo conseguirse estos valores mediante el propio tense mecánico del hilo de contacto.

Sin embargo, cuando la velocidad aumenta, esta diferencia de alturas entre el apoyo y el centro del vano, se vuelve más crítica, siendo necesaria una mayor uniformidad en las alturas. Como el tense mecánico del hilo de contacto no puede aumentar indefinidamente, es necesario tender otro cable, denominado **Sustentador** (Figura 5.4) y sujetar el hilo de contacto al nuevo cable tendido mediante unas retenciones, denominadas **Péndolas**, situadas longitudinalmente cada cierta distancia. De esta forma y mediante la mayor o menor longitud de las péndolas, se consigue mantener constante la altura del hilo de contacto sobre el carril.



Figura 5.4. Sustentador e hilo de contacto.

Existen diversas formas constructivas de mantener este conjunto de cables, sustentador, hilo de contacto y péndolas en la posición adecuada, en función de las características constructivas, ubicación (plena vía o estaciones), diseño específico, etc. Con objeto de realizar una descripción general de las mismas, se podrían agrupar en dos grandes grupos, pórticos y ménsulas.

- **Pórtico:** El montaje mediante este sistema, se caracteriza porque la catenaria esta suspendida de una estructura metálica, realizada mediante perfiles y entonces se denomina pórtico rígido, o bien sobre una estructura formada mediante cables de acero, denominándose en este caso pórtico funicular (actualmente en desuso). En ambos casos se colocan a ambos lados de las vías más externas unos postes que sirven de soporte adecuado.
- **Ménsula:** caracterizado por colocar un poste a un lado de la vía y después montar sobre este una estructura metálica denominada ménsula que soporta a los cables.

5.2.1 HILO DE CONTACTO

El hilo de contacto (Figura 5.5) es quizá el elemento fundamental de todo el conjunto de materiales empleados en las líneas aéreas de contacto. Es el elemento sobre el que el pantógrafo va realizando el frotamiento y suministrando la corriente necesaria a todo el tren para su desplazamiento y servicios auxiliares.

Está formado por un conductor que tiene ranuras laterales para ser soportado a lo largo del vano, de secciones apropiadas en función de la demanda de corriente; suele ser de aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, etc.

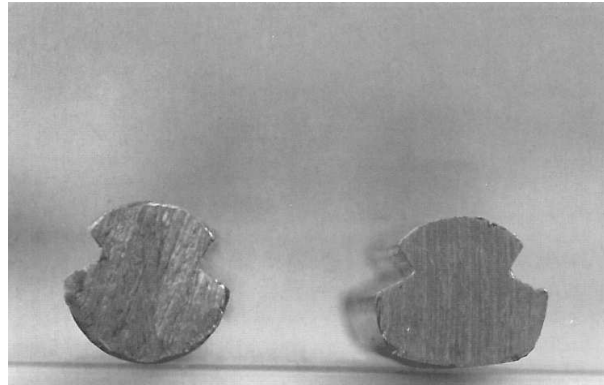


Figura 5.5. Sección de un hilo de contacto.

Antiguamente se utilizaban hilos de contacto fabricados de cobre electrolítico pero la aparición de nuevas aleaciones permitió aumentar la conductividad eléctrica y aumentar las tensiones mecánicas de trabajo.

La posición normal de hilo de contacto sería sobre el eje de la vía y a una determinada altura. El hilo de contacto en esta posición frotaría siempre en un mismo punto del pantógrafo, en el eje central, con lo que produciría por una parte el calentamiento del pantógrafo en dicho punto y por otra un desgaste puntual excesivo solo y exclusivamente en el punto de rozamiento y produciría la rotura inmediata de las pletinas del pantógrafo y por tanto la rotura de este.

Para evitar que el hilo o los hilos de contacto rocen en un solo punto de las pletinas del pantógrafo, se va desplazando la catenaria alternativamente a uno y otro lado del eje central, como puede observarse en la figura 5.6. A esta distancia en horizontal que existe desde el eje de la vía hasta la posición del hilo de contacto en el atirantado, se le denomina descentramiento. Un valor aconsejable de esta distancia oscila entre 20 y 25 cm. En el caso de los tramos en curva, siempre se atiranta hacia fuera de la curva.

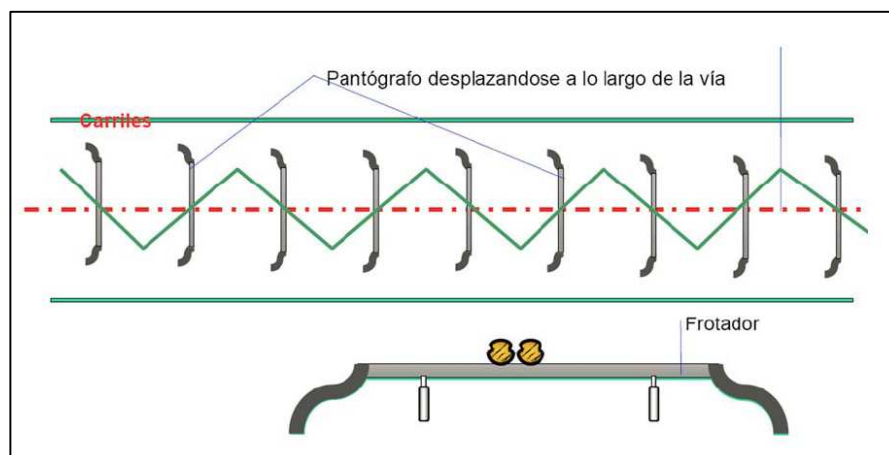


Figura 5.6. Efecto del descentramiento al moverse el pantógrafo

5.2.2 SUSTENTADOR

El cable sustentador tiene como misión, soportar el peso del sistema formado por los hilos de contacto y péndolas, así como de mantener todo el sistema con una determinada tensión mecánica, cooperando en el dimensionamiento eléctrico de la línea.

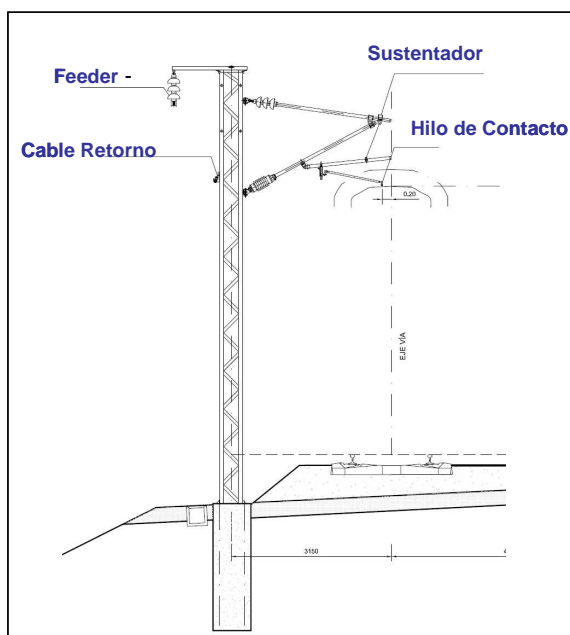


Figura 5.7. Esquema equipo de sustentación

Una forma de definir globalmente los distintos tipos de catenaria se basa en la posición del sustentador en la ménsula. Así, si el sustentador pasa por debajo de la ménsula la catenaria se denomina suspendida y si está apoyada en ella se denomina catenaria apoyada.

El cable sustentador suele estar formado por varios hilos, arrollados sobre sí mismos, utilizándose preferentemente los siguientes valores de sección en mm^2 según el tipo de electrificación y la tensión de utilización:

- **Corriente continua:** 750 / 1.500 / 3.000 V; Cobre: 299, 182, 153, 120, 95 mm^2
Bronce: 184, 116 mm^2
- **Corriente alterna:** 15.000 / 25.000 V; Cobre: No se suele emplear
Bronce: 50 y 65 mm^2

En algunos tipos de montajes de catenaria, se utilizan unos cables intermedios entre el sustentador e hilos de contacto, denominados falsos sustentadores, que tienen como misión conformar una determinada estructura de la catenaria, conocida como péndola en Y.

5.2.3 PÉNDOLAS

Se denomina con este nombre, al conjunto de cables de cobre o bronce, que tienen como primera finalidad el mantener el o los hilos de contacto a una determinada distancia del plano de rodamiento medio de forma homogénea (*Figura 5.8*).

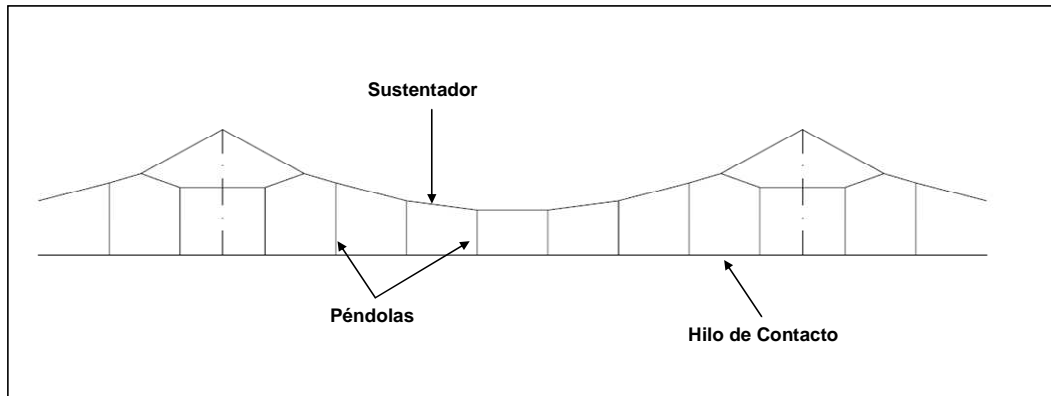


Figura 5.8. Esquema Ubicación Péndolas

Actualmente, para evitar la colocación de alimentaciones entre sustentador e hilos de contacto, que producen puntos duros en la línea y por tanto despegues de pantógrafo, se utilizan péndolas realizadas en cable flexible de 16, 20 o 25 mm², que al mismo tiempo que mantienen los hilos de contacto en la posición adecuada, proporcionan una buena unión eléctrica entre sustentador e hilos de contacto.

Los elementos encargados de coger el hilo de contacto sin que interfiera el paso del pantógrafo se denominan **grifas**, y van montadas sobre las ranuras que posee el hilo de contacto (*Figura 5.9*).

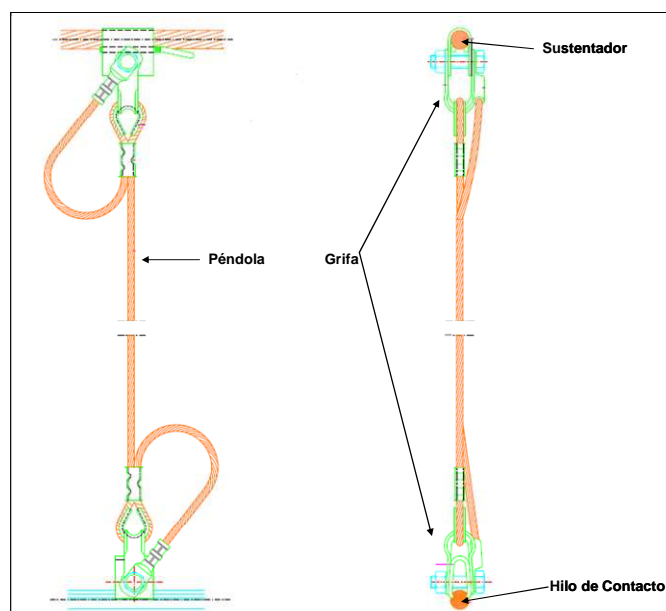


Figura 5.9. Esquema Anclaje Péndolas



El conjunto péndola/grifa debe de permitir, especialmente en electrificaciones en corriente continua y en general en aquellas que utilicen dos hilos de contacto, que estos se adapten a las pequeñas inclinaciones que los descentramientos producen sobre el pantógrafo, y que evidentemente son mayores cuanto mayor es el descentramiento.

5.2.4 POSTES

Son los encargados de soportar la catenaria así como los elementos auxiliares que la componen. Se fijan al suelo mediante macizos de hormigón, con una profundidad de 1 m aproximadamente.

En la determinación del tipo de poste a utilizar en el montaje de la línea aérea de contacto, se ha de calcular el momento de todos los esfuerzos que tiene que soportar el poste referido a su base, según el punto de la línea donde se encuentre, recta o curva, elegir el poste que sea capaz de soportar dichos esfuerzos y por último el macizo que sea capaz de soportar el momento de vuelco del poste.

El eje del poste, se coloca fuera del contorno del galibo de circulación, siendo en el caso de RENFE a una distancia aproximada de 3,2 m del eje de la vía de tal forma que la cara interior del poste quede como mínimo a 1.90 metros de la cara exterior del carril mas cercano, debiendo quedar como norma general la superficie superior del macizo, en vía general, a una altura de 50 cm por debajo del plano medio de rodamiento (entendiéndose como plano medio de rodamiento al plano horizontal que corta en su punto medio, al plano que forman las superficies de rodamiento de los carriles).

Para compensar los esfuerzos correspondientes al peso de la ménsula, sustentador, hilos de contacto, así como los descentramientos, los postes no se colocan de forma general perpendiculares, sino que tiene una pequeña inclinación o flecha. Esta inclinación se mide como la distancia que existe desde el eje del poste hasta su vertical, en la base del mismo.

El conjunto formado por poste, ménsula, etc., está diseñado para soportar los pesos de la línea así como los producidos por los descentramientos. Sin embargo, como los cables integrantes de la catenaria están sometidos longitudinalmente a tensiones mecánicas elevadas, del orden de los 2000 kgf, por cable, es necesario que donde se produce la fijación de estos cables, el poste disponga de uno o dos tirantes que anclados al suelo mediante un macizo de hormigón sea capaz de soportar dichas tensiones.

5.2.5 MACIZOS DE FUNDACIÓN DE POSTES Y ANCLAJES

En las instalaciones de catenaria los postes no se suelen montar directamente sobre el suelo, sino que lo hacen a través de cimentaciones de hormigón. Estas cimentaciones denominadas macizos de fundación (*Figura 5.10*), pueden tener forma de paralelepípedo, forma trapezoidal o cilíndrica, en función de las características de la plataforma de la vía. En alta velocidad las cimentaciones son cilíndricas.

Si la plataforma de la vía, es en terreno llano o en trinchera se denominará macizo de fundación en desmonte y si la plataforma esta en terraplén, sería macizo de fundación en terraplén.

Además de los tipos de macizos señalados para la colocación de postes, existe también un tipo de macizo muy utilizado y que se denomina macizo de anclaje, y es el que se utiliza como contrapeso en los anclajes de catenaria y puntos fijos de la línea.

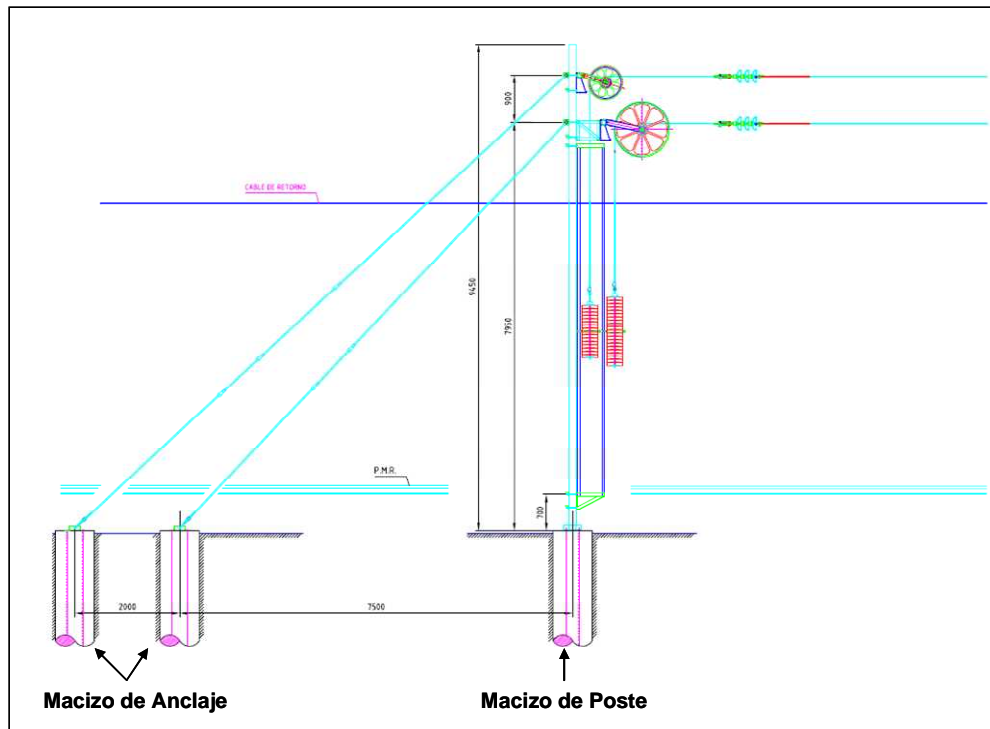


Figura 5.10. Macizos de fundación de postes y de anclajes

La elección de un determinado tipo de macizo tanto sea en desmante, terraplén o de anclaje, se realiza en función de las cargas que deba soportar y del terreno que lo rodea.

5.2.6 AISLADORES

La línea aérea de contacto esta formada por conductores desnudos, necesitando estar aislada de los apoyos y tierra por medio de aisladores que normalmente son:

- *Aisladores de porcelana*
- *Aisladores de vidrio*
- *Aisladores compuestos.* Están formados normalmente por un núcleo de fibra de vidrio recubierto de una capa de teflón.
- *Aisladores de resina epoxi.*
- *Aisladores de silicona.* Al igual que los aisladores compuestos, utilizan un núcleo de fibra de vidrio recubierto en este caso por silicona.

La sujeción de los aisladores a los apoyos se realiza por medio de herrajes complementarios.

Todo aislador debe cumplir una serie de características tales como:

- Rigidez dieléctrica suficiente para la tensión de trabajo.

- Resistencia mecánica adecuada
- Forma adecuada a la posición de trabajo

5.2.7 MÉNSULAS

La ménsula es el elemento que, apoyándose en el poste, permite la colocación de la catenaria en su posición adecuada.

En Alta Velocidad se utilizan las ménsulas tubulares, existiendo también en catenaria convencional las ménsulas de celosía.

Las ménsulas tubulares están constituidas por un tubo principal de acero o de aluminio, y sobre este va colocado otro de menor diámetro que se desplaza por el anterior de forma paralela al plano de rodamiento medio y que permite la colocación sobre el de los elementos de atirantado. También dispone esta ménsula de un tirante en su parte superior que permite según la constitución del tirante soportar esfuerzos de tracción o compresión. (Figura 5.11)

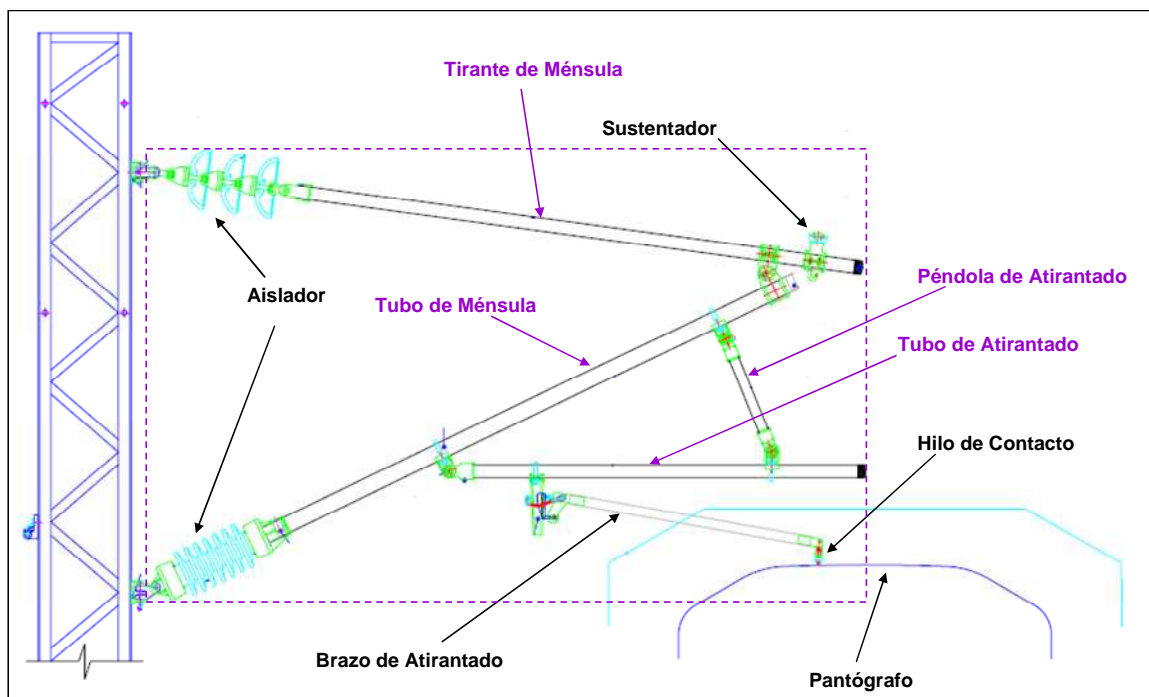


Figura 5.11. Ubicación ménsula con respecto al poste, el hilo de contacto y el sustentador

Las ménsulas pueden estar fijadas al poste de forma rígida o bien ser capaces de girar sobre el plano horizontal cuando se regula la tensión mecánica del sustentador, a cuyo efecto se intercala una rotula en el elemento de fijación del poste.

La rotula o elemento de giro de la ménsula con respecto al poste, permite los desplazamientos lineales del sustentador y de los hilos de contacto, por efecto de la dilatación lineal.

5.2.8 PÓRTICOS

Si los extremos superiores de los postes situados a ambos lados de las vías se unen entre sí por medio de una viga o cable de acero queda constituido lo que denominamos genéricamente como Pórtico en el que pueden suspenderse las catenarias de las vías que abarca. En Alta Velocidad únicamente se utilizan los pórticos rígidos (*Figura 5.12*), habiendo desaparecido el uso de pórticos funiculares.

El sistema de montaje de la catenaria mediante pórtico rígido se utiliza cuando no existiendo el espacio suficiente para montar cada catenaria mediante postes independientes, es conveniente que aun en estas situaciones cada una de las catenarias sean mecánicamente independientes.

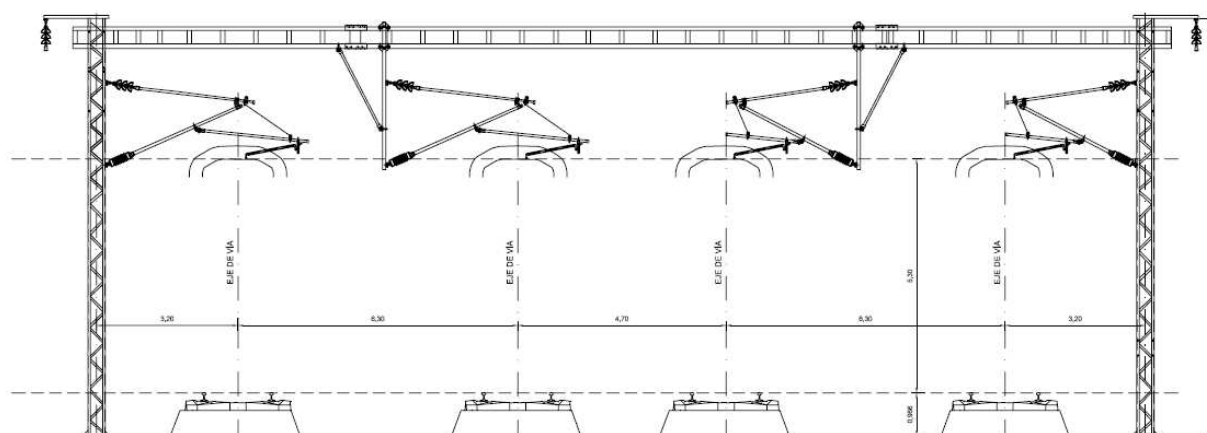


Figura 5.12. Esquema de pórtico rígido para cuatro vías

La independización mecánica de las distintas catenarias mediante pórtico rígido, permite la compensación independiente de cada una de las vías, y evita que una incidencia de tipo mecánico en una catenaria, arrastre al conjunto de todas las demás.

Este montaje presenta la ventaja de poder mantener las mismas condiciones estáticas y dinámicas a la catenaria, y por tanto poder mantener en aquellos lugares donde se instala la misma velocidad que en el trayecto de vía general. Se pretende mediante este sistema que el comportamiento de la línea en las estaciones sea homogéneo con el trayecto.

5.3 COMPENSACIÓN MECÁNICA DE LA CATENARIA

Al estar la línea aérea de contacto formada por cables, conductores de calor y de la electricidad, sometidos a una determinada tensión mecánica, y tener que soportar las variaciones climatológicas, se producen como en cualquier cuerpo metálico variaciones de su longitud por efecto de la dilatación lineal y de su elasticidad.

El aumento de longitud que se produce en los distintos cables que forman la catenaria, produce variaciones en la tensión mecánica inicial con la que fueron tendidos y pendolados, y por lo tanto variaciones de altura con respecto al plano de rodamiento. Estas variaciones de altura se producen tanto entre el apoyo y el centro del vano como entre péndola y péndola.

Cuanto mayor sea la velocidad de circulación de los trenes, mayor será la dificultad para que el pantógrafo siga las variaciones de altura de hilo de contacto y por tanto mayor será la probabilidad de que se produzcan faltas de contacto entre pantógrafo y catenaria (despegues) que reducen la potencia de la maquina y esfuerzos incontrolados entre pantógrafo e hilos, que algunas veces son capaces de producir una avería en el sistema.

5.3.1 CANTÓN

Para contrarrestar el efecto de las dilataciones en la línea aérea de contacto se procede a dividir la línea en partes de longitud comprendida entre 900 y 1300 metros, medidos de anclaje a anclaje de cables. A cada una de estas partes en que se divide la línea se le denomina Cantón. En el centro de cada cantón se montan unos cables que sujetan y estabilizan al sustentador e hilos de contacto, impidiendo que toda la línea se desplace hacia un lado u otro. Las partes del cantón que existen a cada lado de ese punto central, denominado punto fijo, se denominan semicantones.

El punto central del cantón, punto fijo, debe de coincidir con una ménsula o poste y mantenerla sin desplazamientos o giros de ninguna clase, independientemente de la temperatura ambiente o de los cables. La estabilización de dicha ménsula se realiza mediante un cable de acero, convenientemente aislado, que sujeta al conjunto de suspensión y a través de éste la ménsula, el sustentador y los hilos de contacto. Los cables de acero se fijan a los postes adyacentes y para evitar que estos se doblen se refuerzan mediante un tirante denominado Tirante de Anclaje al Punto Fijo. (Figura 5.13)

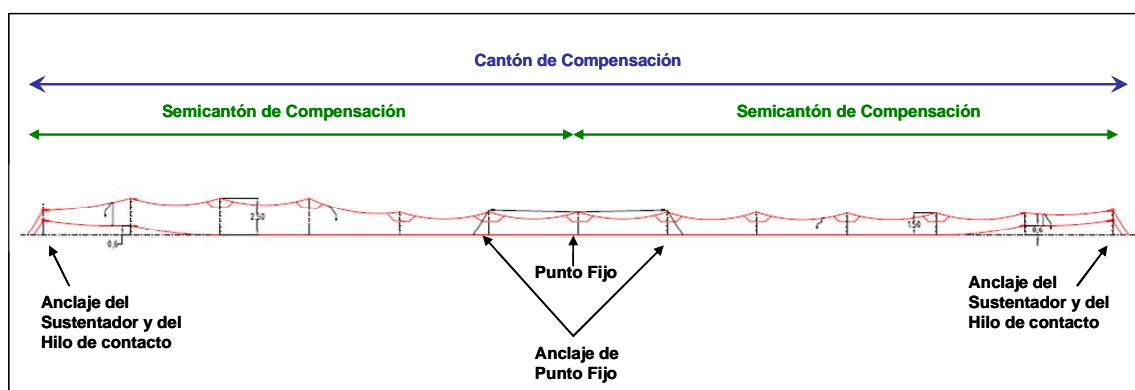


Figura 5.13. Esquema de un cantón de compensación

El cantón puede tener dispositivos para la regulación automática de la tensión mecánica o no disponer de estos. En este último caso, los cables, sustentador e hilos de contacto, se sujetan convenientemente aislados a los postes mediante unos tensores que permiten regular de forma manual la tensión mecánica en las diferentes épocas del año. Cuando el cantón está compensado automáticamente, los cables se sujetan a los postes extremos mediante un sistema formado por poleas y contrapesos (como puede observarse en la figura 5.14) que tiene por objeto mantener constante la tensión mecánica de los cables, independientemente de las variaciones de temperatura. En otras administraciones se utilizan otros tipos de compensación automática formados por sistemas hidráulicos, sistemas de gas, etc.



Figura 5.14. Compensación mediante contrapesos

5.3.2 SECCIONAMIENTO.

La continua sucesión de cantones forma lo que se denomina línea aérea de contacto, que puede estar compensada o no. Sin embargo, para que el pantógrafo no encuentre ninguna discontinuidad en la línea, los cables se deben solapar, de tal forma que cuando un cantón de línea termina, a continuación empiece el siguiente. La zona donde se solapa una sección de cable con otra se denomina seccionamiento. Existen dos tipos de seccionamiento:

- Seccionamiento de cantón o de compensación
- Seccionamiento de lámina de aire.

5.3.2.1 Seccionamiento de cantón o de compensación

Cada vez que es preciso montar un equipo de compensación, es necesario establecer un solape entre dos catenarias de modo que el pantógrafo tome contacto con la nueva catenaria antes de abandonar la anterior. Esto se consigue por medio de los seccionamientos de compensación, que se puentean eléctricamente de modo que exista continuidad eléctrica.

Como se puede observar en la figura 5.15, el seccionamiento consta de:

- **El punto de anclaje** y compensación mecánica de la siguiente catenaria (cantón) que el pantógrafo va a comenzar a frotar (Catenaria que "nace", moviéndonos de izquierda a derecha) En la figura 5.15 se ve como en ese punto se ancla y compensa la catenaria de color verde, en línea discontinua, significando que la catenaria que "nace" aún no está frotando con el pantógrafo, siendo la que aún sigue aportando corriente eléctrica al pantógrafo la catenaria roja en línea continua.

Realmente, el punto de anclaje del seccionamiento no será más que un poste con un equipo de poleas y contrapesos, ya que es el nacimiento de un nuevo cantón. De las poleas partirá el hilo de contacto y el sustentador.

- **Semieje de Seccionamiento.** Es el punto donde la catenaria que se anclaba en el anclaje del seccionamiento anterior se alinea con la catenaria por la que viene el pantógrafo (catenaria que "muere") y que abandonará en el seccionamiento.
- **Eje de Seccionamiento.** Llegado a este punto, el pantógrafo sí frota a las dos catenarias, a la que "está naciendo" y a la que "está muriendo". El vano existente entre un semieje (S/E) y un eje (E) es lo que se denomina vano de elevación porque es en él donde las alturas de los hilos de contacto de las dos catenarias coinciden, no haciéndolo en el tramo de vano restante.

En este tramo, el hilo de contacto que "nace", el verde, va progresivamente disminuyendo su altura hasta llegar a la altura de frotamiento con el pantógrafo en las proximidades del eje de seccionamiento.

A partir del eje, el montaje se repetirá de forma análoga e inversa, es decir, la catenaria por la que el pantógrafo venía al seccionamiento (línea color rojo) será la que ahora comience a elevarse para anclarse.

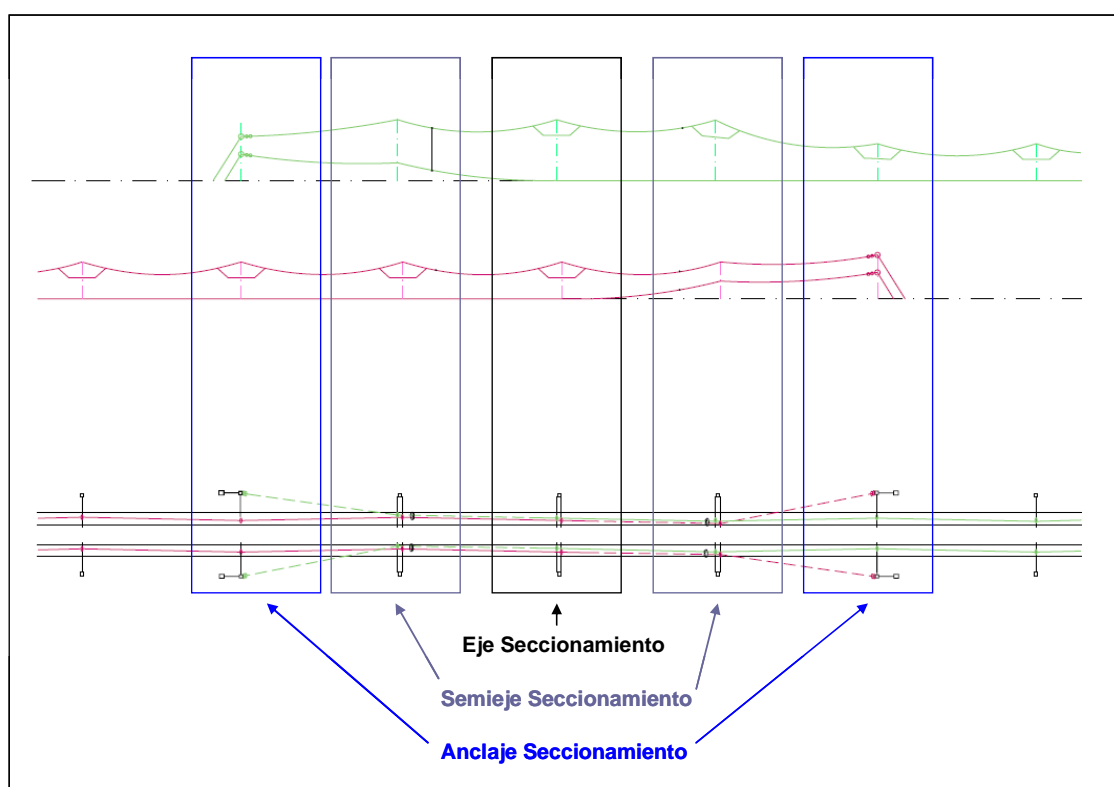


Figura 5.15. Esquema de un seccionamiento de compensación de 4 vanos

Estos seccionamientos de compensación se confeccionan en cuatro vanos con eje, siempre que los vanos sean mayores de 50 m. Si por cualquier motivo el vano situado entre el eje y el semieje debiera ser menor de 50 m, el seccionamiento se haría en 5 vanos.

En la siguiente figura, figura 5.16, se muestra un seccionamiento formado por cinco vanos. El funcionamiento es idéntico al de cuatro vanos, con la salvedad de que en vez de un eje de

seccionamiento dispone de dos. Debido a esto, la zona en la que coinciden dos hilos de contacto frotando con el pantógrafo es mayor que la que aparece en los seccionamientos de cuatro vanos.

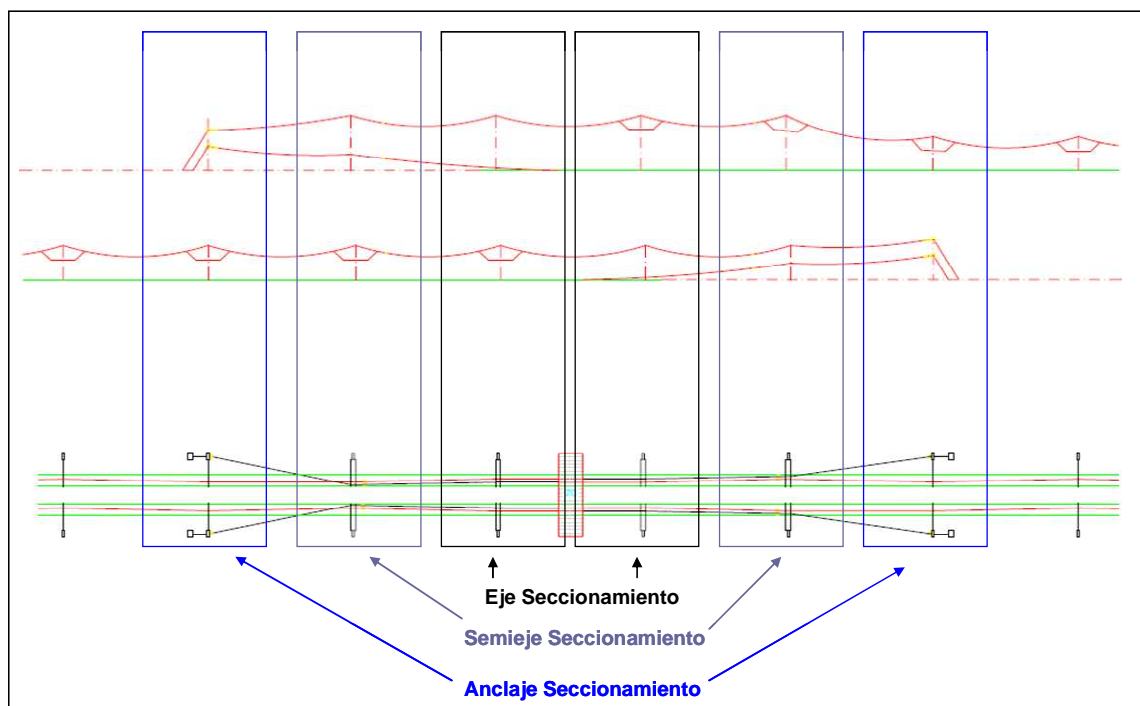


Figura 5.16. Esquema de un seccionamiento de compensación de 5 vanos

En resumen, la función principal de los seccionamiento de compensación es la de conseguir continuidad mecánica en la catenaria.

5.3.2.2 Seccionamiento de lámina de aire

Mientras que el seccionamiento de compensación otorga continuidad mecánica a la catenaria, los seccionamientos de lámina al aire pretenden aportar continuidad eléctrica.

Es necesario alimentar eléctricamente la catenaria que va a comenzar a frotar el pantógrafo (verde), conectándola mediante un *feeder* a la que catenaria que va a "morir" (rojo), y que ya está electrificada. En la Figura 5.17 se pueden apreciar los dos puntos donde se produce dicha conexión eléctrica.

Del mismo modo, existen dos puntos de aislamiento entre las dos catenarias que corresponden con los seccionadores de lámina al aire. En un seccionamiento siempre ocurre que uno de los aisladores está abierto y otro cerrado para conseguir la continuidad eléctrica.

La ventaja de los seccionamientos de lámina al aire con respecto a otro tipo de aislador es que permiten aislar una zona de catenaria en el instante que se requiera, sin que en ningún momento exista ninguna limitación de funcionamiento, y sin necesidad de conexión eléctrica de continuidad. Esa continuidad se establece a través de un seccionador telemandado, permitiendo aislar eléctricamente aguas arriba o aguas debajo de dicho seccionamiento de lámina al aire.

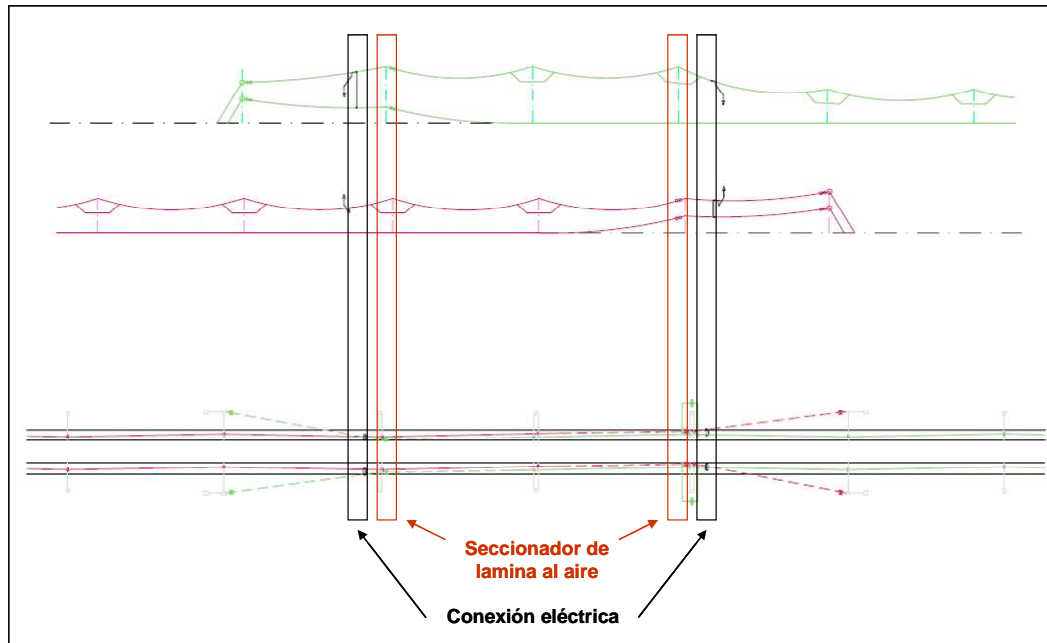


Figura 5.17. Esquema de un seccionamiento de lámina al aire en 4 vanos

5.4 ZONAS NEUTRAS

Al ser la alimentación a la catenaria monofásica, y con el fin de equilibrar las cargas de las fases de las líneas de alimentación, la conexión de transformadores contiguos se hace desde fases diferentes. Por lo tanto, dos transformadores contiguos no pueden estar en paralelo y es preciso establecer una zona neutra que separe las fases. Esta zona neutra se realiza estableciendo una catenaria auxiliar que hace seccionamiento de aire entre las dos catenarias alimentadas por una y otra fase, y sin conexión eléctrica con ellas. En la Figura 5.18 se puede apreciar en color rojo la catenaria auxiliar entre las dos catenarias a distinta fase, las de color verde.

En una disposición de una Zona Neutra en el sistema 2x25 se puede observar la existencia de seccionadores que permiten la alimentación de la catenaria auxiliar en el caso de que un tren, por algún motivo, se quede detenido en la zona sin tensión.

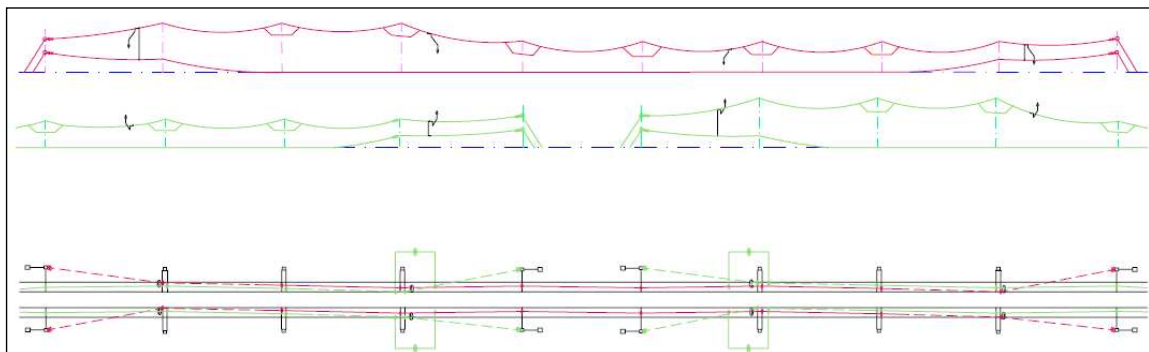


Figura 5.18. Esquema de una zona neutra



5.5 AGUJA AÉREA

Cuando un tren cambia de una vía a otra, lo hace a través de una instalación denominada cambio, aguja o desvío. Si el tren es de tracción eléctrica es necesario que durante todo el tiempo que dura la transición de una vía a otra, el pantógrafo esté en contacto con la catenaria; necesitándose de un montaje especial que permita al pantógrafo el cambio de la catenaria de una vía a la catenaria de la nueva, manteniéndose siempre en contacto eléctrico con los cables para permitir la tracción. Al montaje especial que hay que realizar en la catenaria para permitir el paso de una vía a otra se le denomina aguja aérea.

La continua mejora de los equipos de vía, así como el mayor radio de los nuevos desvíos hacen que tanto vía directa como por desviada, los trenes circulen a mayor velocidad, y por tanto las instalaciones de la línea aérea de contacto en estos puntos, se deben realizar con el diseño adecuado para que el paso por ellos se realice en las mejores condiciones de fiabilidad.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

6 .ANÁLISIS DEL TRAMO

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DEL TRAMO OLMEDO-ZAMORA

6 ANALISIS DEL TRAMO OLMEDO-ZAMORA

6.1 INTRODUCCIÓN

El tramo objeto del presente proyecto, Olmedo-Zamora, pertenece a la Línea de Alta Velocidad, en fase de construcción, Madrid – Olmedo - Galicia.

La línea de alta velocidad Madrid-Galicia se puede dividir en dos partes:

- La **Línea de Alta Velocidad Madrid - Segovia – Valladolid**, en servicio desde el 23 de diciembre de 2007. Constituye el primer tramo que entró en funcionamiento de los corredores norte y noroeste del ferrocarril de alta velocidad en España. Tiene una longitud de 179,6 Km.
- La **Línea de Alta Velocidad Olmedo - Zamora - Galicia**, objeto del presente proyecto, y que se extiende entre la L.A.V. Madrid-Segovia-Valladolid y Santiago de Compostela, pasando por Zamora y Orense-Empalme. Constituirá parte del ramal noroeste del ferrocarril de alta velocidad de España y se prevé esté operativa en el año 2012.

En la Figura 6.1., se puede apreciar la zona de actuación del proyecto y su relación con otros tramos cercanos, así como toda la red española ferroviaria, de alta velocidad y de vía convencional.

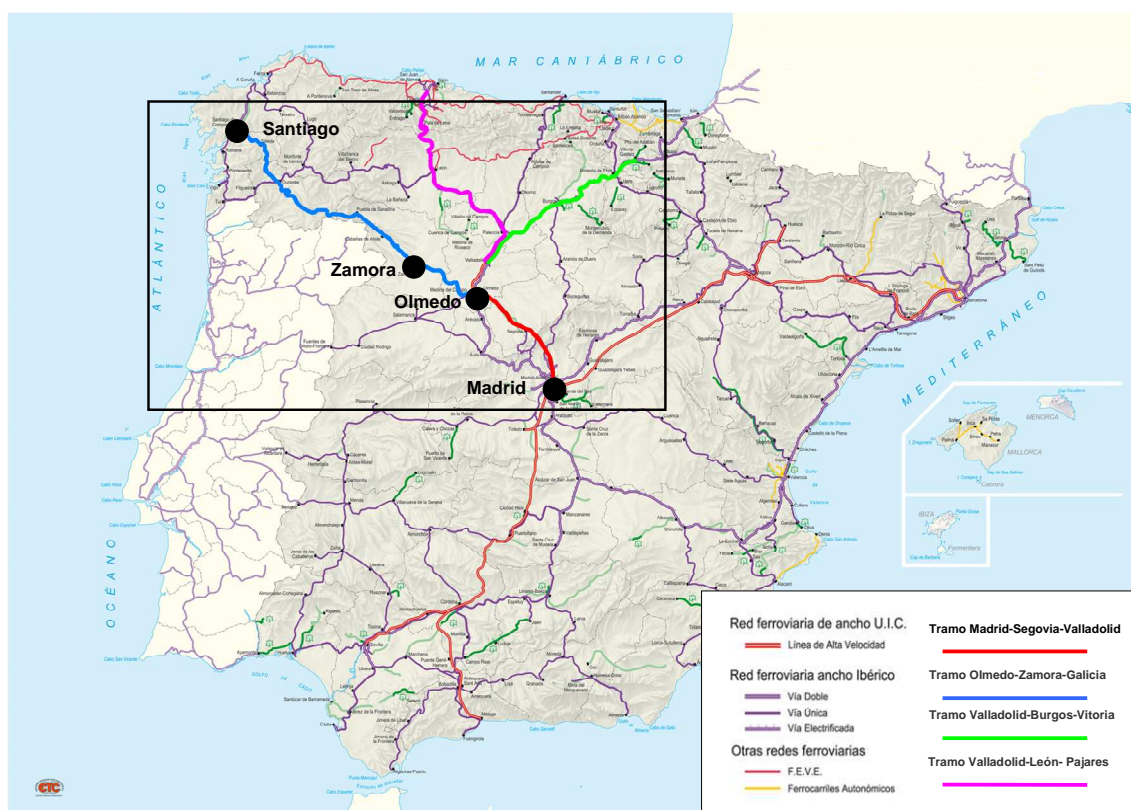


Figura 6.1. Zona de Actuación y Plano Red Ferroviaria española

En la Figura 6.1., se aprecia como la línea Madrid-Segovia-Valladolid está conectada con las siguientes líneas de alta velocidad:

- L.A.V. Olmedo-Zamora-Galicia, y ésta a su vez con el Eje Atlántico
- L.A.V. a Asturias (Valladolid-Venta de Baños-León-Variante de Pajares)
- L.A.V. Valladolid - Burgos - Vitoria, y ésta a su vez con la futura L.A.V. Logroño-Miranda de Ebro y la Y Vasca.
- Otras líneas de alta velocidad que parten de Madrid, gracias a la futura construcción de un tercer túnel con vías de ancho internacional entre las estaciones de Chamartín y Atocha.



Figura 6.2. Plano Línea Madrid-Olmedo-Galicia (Santiago de Compostela)

El trazado de la línea Madrid-Olmedo-Galicia está diseñado de acuerdo con las especificaciones técnicas de interoperabilidad de la Unión Europea para líneas ferroviarias de alta velocidad. Constará de vía doble de ancho internacional (1.435 mm) y será apta para una velocidad máxima de 350 km/h.

Los tramos en los que esta dividida la Línea de Alta Velocidad Madrid – Olmedo – Galicia se pueden ver ilustrados en la Figura 6.2., y son los que se enumeran a continuación:



➤ Olmedo – Zamora

En la tabla 6.1 se muestran los subtramos del tramo Olmedo-Zamora.

Tabla 6.1. Subtramos del tramo Olmedo-Zamora

Tramo	Kilómetros
Conexión L.A.V. Madrid-Segovia-Valladolid (dirección Madrid)	3,68
Conexión L.A.V. Madrid-Segovia-Valladolid (dirección Valladolid)	7,8
Olmedo - Pozal de Gallinas	10,9
Pozal de Gallinas - Villaverde de Medina	13,9
Villaverde de Medina - Villafranca de Duero	32,2
Villafranca de Duero - Coreses	28,7
Acceso a Zamora	6,2

➤ Zamora – Lubián

En la tabla 6.2 se muestran los subtramos del tramo Zamora-Lubián.

Tabla 6.2. Subtramos del tramo Zamora - Lubián

Tramo	Kilómetros
Zamora - La Hiniesta	11,0
La Hiniesta - Perilla de Castro	20,3
Perilla de Castro - Otero de Bodas	32,6
Otero de Bodas - Cernadilla	30,3
Cernadilla - Pedralba de la Pradería	19,1
Pedralba de la Pradería - Túnel del Padornelo	11,0
Acondicionamiento Túnel del Padornelo (vía única)	6,0
Nuevo Túnel del Padornelo (2ª vía)	6,0

➤ Lubián – Orense

En la tabla 6.3 se muestran los subtramos del tramo Lubián-Orense.

Tabla 6.3. Subtramos del tramo Lubián - Orense

Tramo	Kilómetros
Lubián – Vilavella	15,6
Vilavella – Vilariño de Conso	15,4
Vilariño de Conso–Ceredelo	15,6
Ceredelo – Riobó	15,6



Riobó– Ponte Ambía	16,5
Ponte Ambía – Orense	15,9
Integración en Orense	16,4

➤ Orense - Santiago de Compostela

En la tabla 6.4 se muestran los subtramos del tramo Orense-Santiago de Compostela.

Tabla 6.4. Subtramos del tramo Orense – Santiago de Compostela

Tramo	Kilómetros
Accesos a Orense	1,5
Orense – Amoeiro	6,4
Amoeiro – Maside	6,3
Maside – Carballino	5,8
Carballino – O Irixo	6,7
O Irixo – Lalín (Abeleda)	6,5
Lalín (Abeleda) – Lalín (Baxán)	9,7
Lalín (Baxán) – Lalín (Anzo)	9,1
Lalín(Anzo) – Silleda (Carboeiro)	5,3
Silleda (Carboeiro) – Silleda (Dornelas)	7,0
Silleda (Dornelas) – Vedra	6,4
Vedra – Boqueijón	6,9
Boqueijón - Santiago de Compostela	5,8
Acceso a Santiago de Compostela	3,6

6.2 ANÁLISIS DEL TRAMO OLMEDO ZAMORA

Los subtramos del tramo Olmedo – Zamora que se van a considerar en el presente proyecto son los que se citan a continuación.

- Conexión con la L.A.V. de Madrid – Segovia – Valladolid
- Olmedo - Pozal de Gallinas
- Pozal de Gallinas - Villaverde de Medina
- Villaverde de Medina - Villafranca de Duero
- Villafranca de Duero - Coreses
- Acceso a Zamora: Coreses - Zamora

6.2.1 OLMEDO – POZAL DE GALLINAS Y CONEXIÓN CON L.A.V. MADRID – VALLADOLID.

El proyecto constructivo del subtramo Olmedo – Pozal de Gallinas (*Figura 6.3*) no contiene puntos singulares en la traza de cara a la electrificación. No existen *PB* (*Puesto de Banalización*) ni *PAET* (*Puesto de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes*), ni túneles, ni estaciones, ni desvíos.

El tramo de conexión con la línea Madrid-Valladolid, contempla dos viaductos: uno sobre la línea de ferrocarril Medina – Segovia y otro sobre el río Adaja, y dos pérgolas sobre la carretera CL-602 y otra sobre el tramo de ensayos.

Ocupan una longitud total de 10,9 km (Olmedo – Pozal de Gallinas) y de 4,1 km (Conexión con L.A.V. Madrid – Valladolid), discurriendo en su totalidad sobre la provincia de Valladolid. Su velocidad de diseño es de 350 km/h, excepto en la primera curva que la velocidad se limita a 290 km/h.

La rampa para cruzar por encima de la línea Segovia – Medina del Campo tiene una pendiente de 16 milésimas, un punto por encima del valor normal.

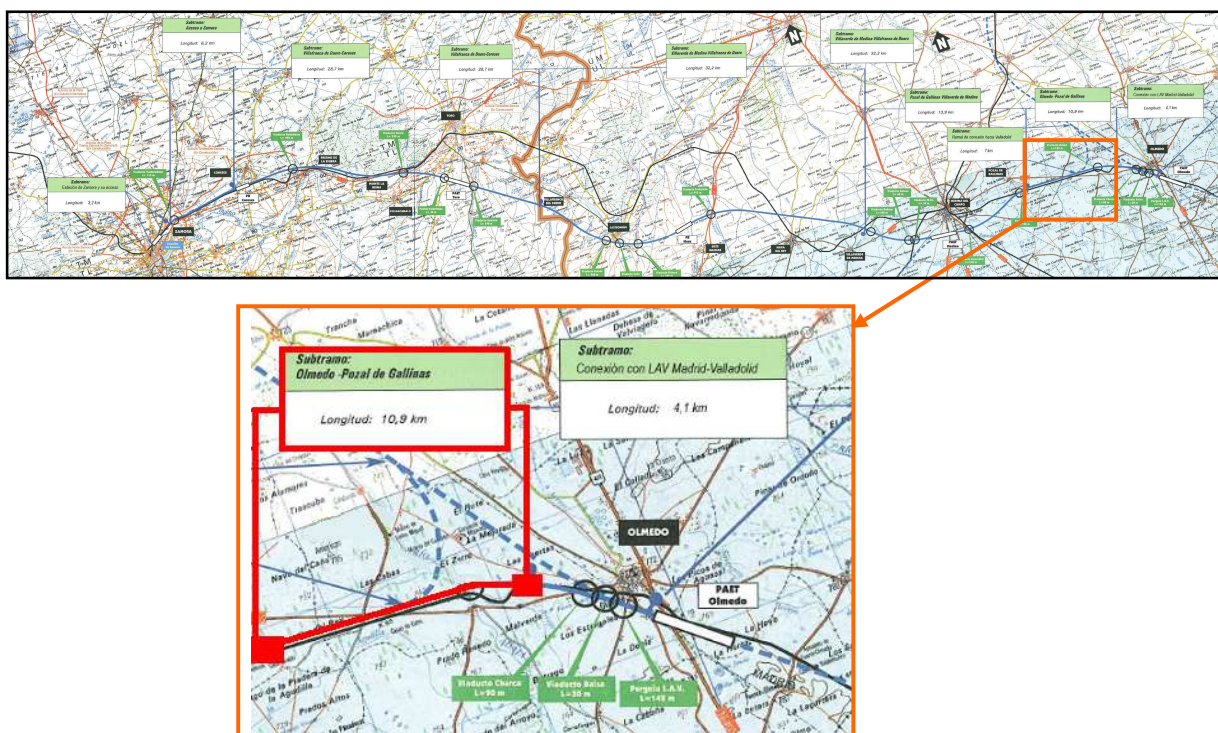


Figura 6.3. Subtramo Olmedo – Pozal de Gallinas

6.2.2 POZAL DE GALLINAS – VILLAVERDE DE MEDINA

De una longitud de 13,9 km discurre en su totalidad por la provincia de Valladolid (*Figura 6.4*). La velocidad de diseño es de 350 km/h en todo el trazado.

Como puntos singulares del trazado, éste proyecto contempla dos:

- Cruce del río Zapardiel, autovía A6 y línea de ferrocarril Madrid – Hendaya en un solo viaducto.

- Viaducto Río Trabancos, de 913 m de longitud. Salva la Autovía A-62 y el Río Trabancos.
- Viaducto Arroyo Pitanza, de 840 m. Resuelve el cruce con el arroyo homónimo.
- Viaducto Arroyo del Caño, de 375 m. Salva el arroyo del mismo nombre y la carretera C-112.
- Viaducto Arroyo del Puente, de 480 m. Cruza el mencionado arroyo y la carretera VA-601.

En el tramo objeto de este proyecto existe un Puesto de Banalización (PB) cuyo inicio se ubica en el P.K. 217+198 y su final en el P.K. 218+708, en el término municipal de Siete Iglesias de Trabancos. El tramo es de pendiente constante de 2.5 ‰.

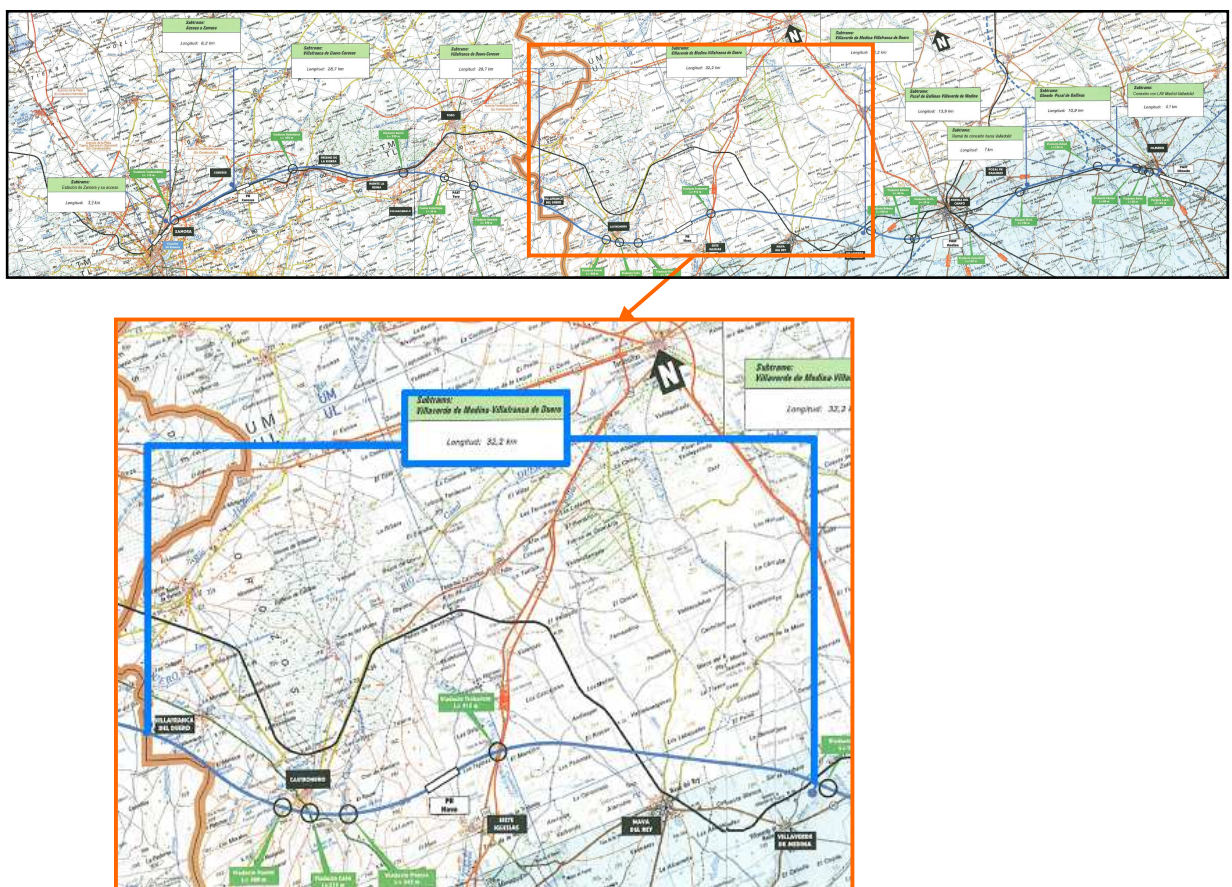


Figura 6.5. Subtramo Villaverde de Medina – Villafranca de Duero

6.2.4 VILAFRANCA DE DUERO – CORESES

La velocidad de diseño en todo el tramo es de 350 km/h. La longitud total del tramo Villafranca de Duero-Coreses (Figura 6.6) es de 28,692 km. Debido a la longitud del trazado, han sido necesarios considerar:

- 4 viaductos
- 9 pasos superiores

- 17 pasos inferiores
- 4 pasos de fauna

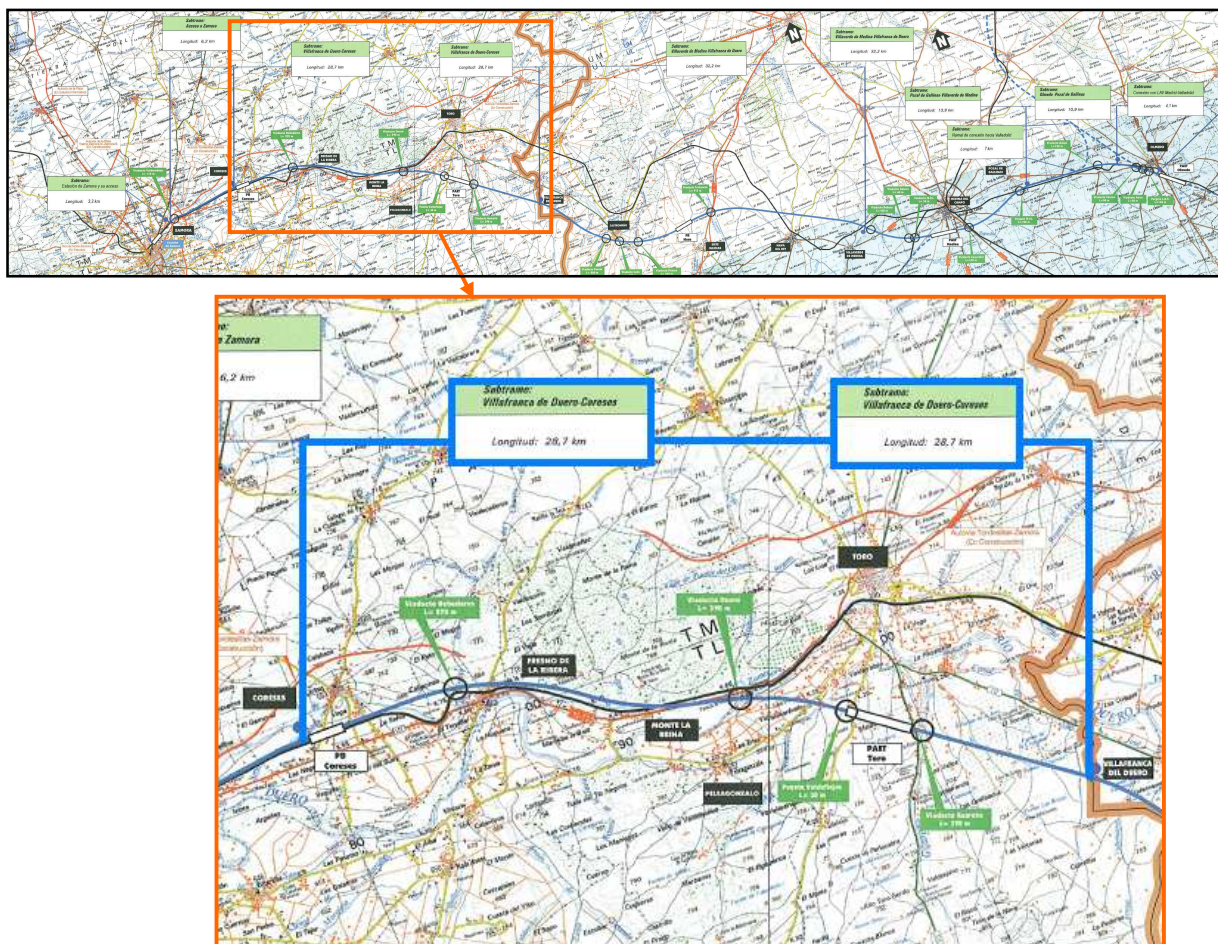


Figura 6.6. Subtramo Villafranca de Duero - Coreses

Además se considera la ejecución de un PAET y un PB. El PAET se ubica en la alineación recta que va desde el PK 306+727,88 al PK 310+121,03. Su longitud de 2,6 km incluye 90 m en cada extremo destinados a estabilización y tiene una rampa longitudinal constante de 2,0 milésimas (ascendente). El PB se ubica en la alineación recta que va desde el PK 325+091,81 al PK 328+692,62 y tiene una pendiente longitudinal constante de -1,50 milésimas (descendente). Esta ubicación sitúa el PB a una distancia de 17,7 km del PAET de Toro y a 10,4 km de la estación de Zamora.

El PAET de Toro se encuentra entre el viaducto de Guareña y el puente de Valdefinjas, con una longitud de 2,6 km:

- PK inicio: 306+727,88
- PK final: 309+327,88

El PB de Coreses se encuentra cercano a dicha localidad y tiene una longitud de 1,51 km:

- PK inicio: 327+050
- PK final: 328+560

La longitud total de 1,51 km incluye 90 m en cada extremo destinados a estabilización.

6.2.5 CORESES – ZAMORA

La longitud del subtramo es de 6,157 km (*Figura 6.6*). El diseño de la plataforma permite velocidades de hasta 220 km/h, exceptuando algún punto singular, como es la curva del PK 405+282, donde la velocidad se limita a 150 km/h. El presente tramo no tiene ningún punto singular en su desarrollo.

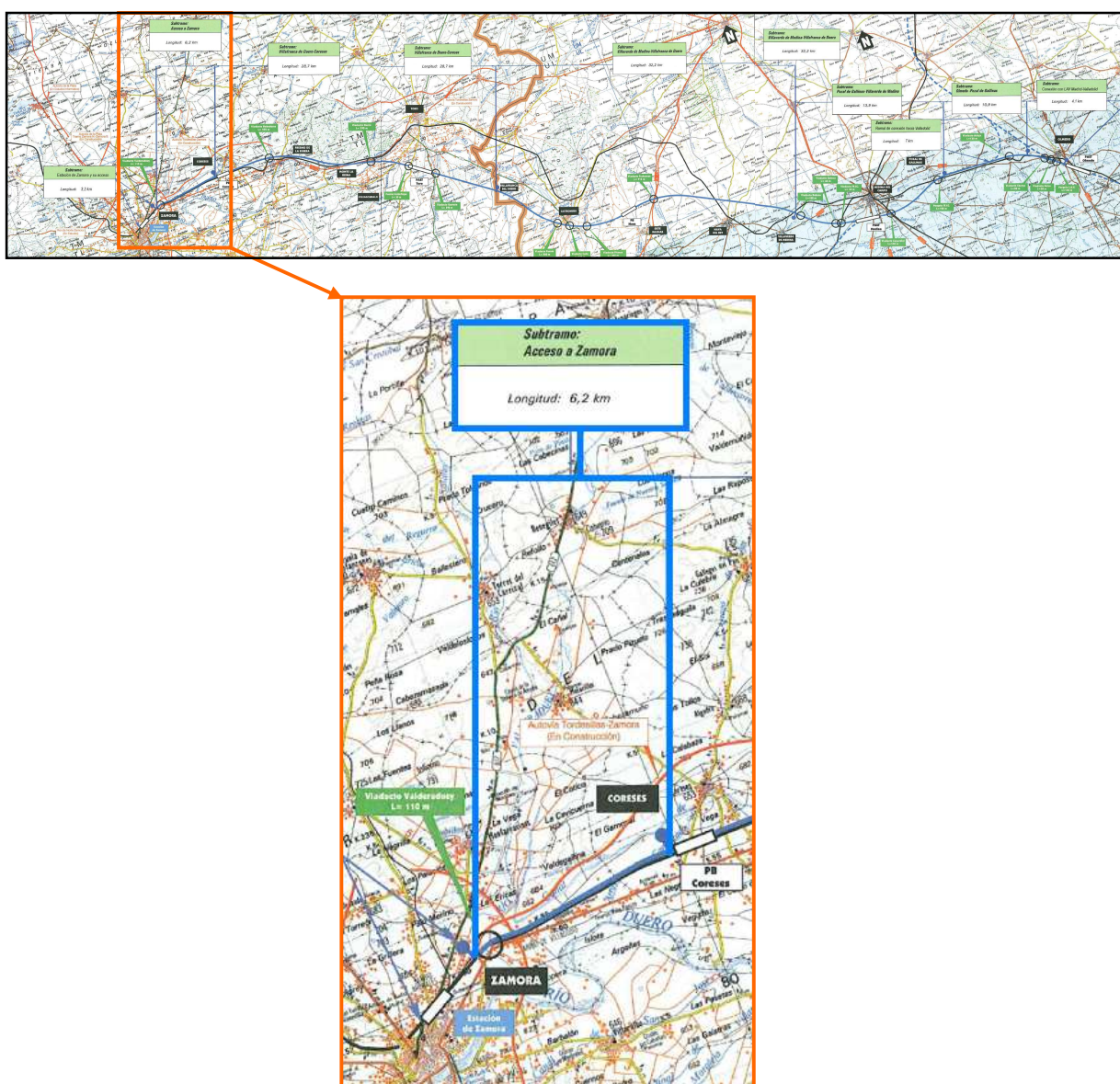


Figura 6.6. Subtramo Coreses – Zamora



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

7. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

CAPÍTULO 7

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO



7. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

7.1. INTRODUCCIÓN

7.1.1. ALCANCE

Estas especificaciones de diseño se refieren a la electrificación de la línea Madrid – Galicia en el tramo Olmedo – Zamora. En este capítulo se pretenden definir las especificaciones necesarias para el diseño de los componentes mecánicos y eléctricos de la catenaria.

Las especificaciones técnicas están basadas en las correspondientes a la Línea de Alta Velocidad Madrid-Lleida-Barcelona, debido a las altas prestaciones obtenidas mediante pruebas reales efectuadas, ya sea con el tren de prueba o con los trenes de la línea regular.

7.1.2. GENERALIDADES

Con el fin de cumplir con los estándares requeridos, el sistema se ha diseñado de acuerdo con las Normas de aplicación para Líneas Ferroviarias de Alta Velocidad. El diseño de la *L.A.C. (Línea Aérea de Contacto)* debe tener en cuenta las características de los otros sistemas existentes, aguas arriba y aguas debajo del flujo de corriente, es decir, el sistema de suministro de energía y las características del material motor.

Cada sistema debe tener en cuenta las condiciones ambientales y se debe asegurar la compatibilidad con los sistemas de comunicaciones y señalización que son vitales para la seguridad de operación. La función de la L.A.C. es la transmisión de energía desde las instalaciones fijas del ferrocarril a las unidades móviles de tracción.

7.1.3. NORMAS Y ESTANDARES ADOPTADOS

La L.A.C. cumple con los Standard UIC y CENELEC en lo que afectan a las líneas aéreas de contacto de Alta Velocidad. En lo no reglamentado específicamente se ha empleado la Normativa Española de Líneas eléctricas, Normas UNE y otros Reglamentos aplicables.

Todos los componentes del sistema están diseñados para una duración mínima de 30 años, no obstante, el desgaste del hilo de contacto depende de las pasadas de pantógrafo y no se puede definir un tiempo de duración del mismo, pero se puede considerar el cambio del hilo de contacto después de dos millones de pasos de pantógrafo, con un desgaste del 20%.

Se ha diseñado una L.A.C. con todos los componentes Standard posibles con el fin de reducir la variedad de piezas y facilitar así el mantenimiento.

La distancia de seguridad entre el pantógrafo y las estructuras soporte de la L.A.C. es suficientemente grande para evitar que se produzca ningún percance en el pantógrafo.



7.2. PARÁMETROS BÁSICOS DEL SISTEMA

7.2.1. GÁLIBO DEL MATERIAL RODANTE

La L.A.C., en su diseño, prevé las distancias de seguridad a los vehículos, de acuerdo con los gálivos establecidos por ADIF para su material.

7.2.2. VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL TREN

La L.A.C. proyectada admite velocidades de trenes de 350 km/h, velocidad a la que se ha comprobado su funcionamiento en la línea Madrid-Lérida-Barcelona, en el tramo Madrid- Roda de Bará sin que, en ningún caso, se hayan producido despegues o sobrepresiones del pantógrafo próximas a las máximas admitidas por la Norma.

El diseño de la L.A.C. se ha hecho para tener una buena captación de corriente a cualquier velocidad hasta 350 km/h + 10%, es decir 385 km/h, si bien las simulaciones por ordenador indican su validez hasta las proximidades de los 400 km/h, sin que se tengan hechas experiencias a escala real a esa velocidad aún, dadas las limitaciones del tren de pruebas en el tramo ensayado.

Con velocidades de viento hasta los 120 km/h no es necesario reducir la velocidad por causa de la catenaria, si bien la acción del viento sobre el pantógrafo puede aconsejar reducir la velocidad para vientos fuertes. El fabricante del pantógrafo debe dar las instrucciones pertinentes en cada caso.

7.2.3. PANTÓGRAFOS

La L.A.C. se ha diseñado para su empleo con pantógrafos según normas UIC, es decir, con ancho total de 1920 mm. También la L.A.C es válida con pantógrafos de 1600 mm [UIC 606-1 OR, 2000], ya que según el E.T.I. (Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad) en el subsistema de "energía" [2002/733/CE], como los pantógrafos se utilizarán en todas las líneas de la red interoperable, no es posible hacer distinción entre categorías de líneas.

En utilización normal se prevé el uso de un sólo pantógrafo en cada tren, si bien, en casos especiales pueden utilizarse dos pantógrafos conectados eléctricamente si su distancia es inferior a 200 m. Para distancias superiores, los pantógrafos no deben ir conectados.

No obstante, las zonas neutras diseñadas para este tramo tienen una zona neutra efectiva de más de 402 m (según E.T.I. subsistema de "energía") con lo que en los casos más desfavorables se mantendrá la independencia eléctrica entre ambos extremos de las zonas alimentadas por fases diferentes.

7.2.4. OSCILACIÓN DEL PANTÓGRAFO

El movimiento lateral del pantógrafo causado por tolerancias de la vía, deficiencia o exceso de peralte, el movimiento dinámico del vehículo, la carga de viento sobre tren y pantógrafo y la deformación del pantógrafo han sido considerados de acuerdo con las normas UIC.

El gálibo de electrificación incluye una distancia de seguridad de 200 mm (*Figura 7.1*), superior a los valores mínimos dinámicos con polución que se indican en la ficha UIC 606-1 [UIC 606-1 OR, 2000].

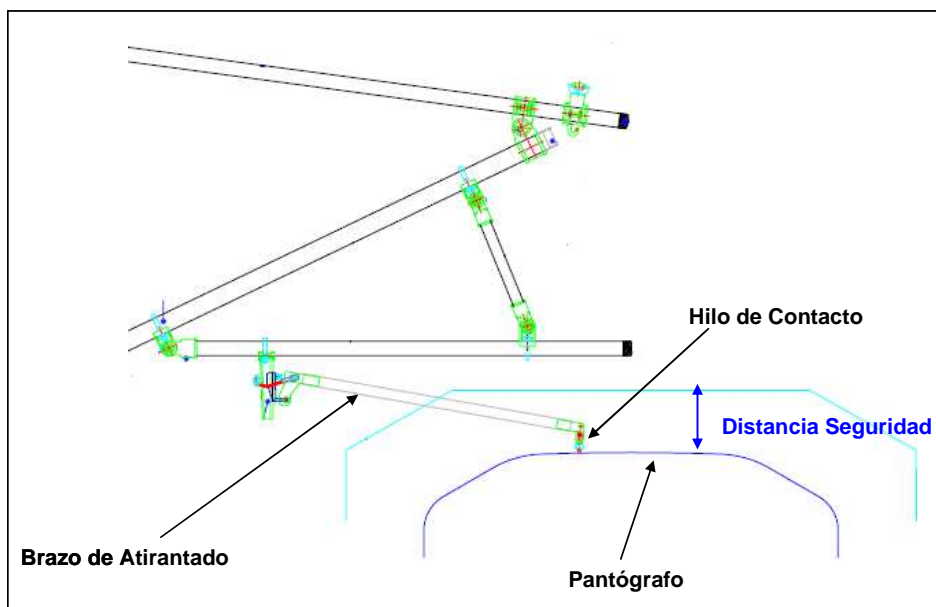


Figura 7.1. Distancia seguridad del pantógrafo

7.2.5. DISTANCIAS ELÉCTRICAS DE SEGURIDAD

De acuerdo con la ficha UIC 606-1 OR las distancias mínimas de seguridad para 25 KV entre catenaria en tensión y tierra es de 250 mm, si existe polución. Esta distancia se reduce a 120 mm mínimo cuando la parte en tensión es móvil.

No obstante, las distancias mínimas respetadas en el diseño han sido de 320 mm para situaciones estáticas y 250 mm para situaciones dinámicas con el fin de tener en cuenta los riesgos de reducción de estas distancias por situaciones externas tales como pájaros u otras.

En las Zonas Neutras y en los seccionamientos de aire se emplea una separación entre conductores paralelos de 500 mm.

7.2.6. DISTANCIAS MECÁNICAS DE SEGURIDAD

Las distancias empleadas entre el pantógrafo y cualquier parte de la instalación son mucho mayores que los valores indicados por la ficha UIC 799 OR [UIC 799 OR, 2000]. En vía general la distancia entre hilo de contacto y tubo horizontal de atirantado es de 350 mm, pese a llevar limitador de elevación en el brazo (*Figura 7.2*).

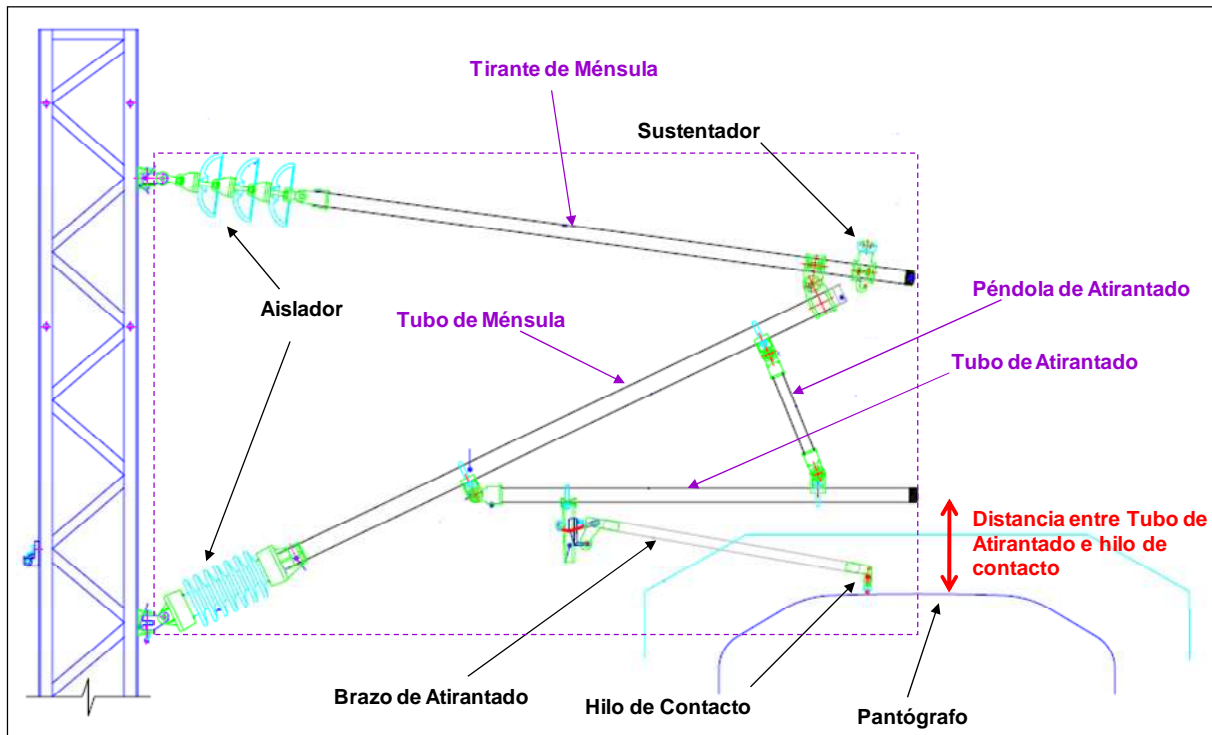


Figura 7.2. Distancia de seguridad entre el tubo de Atirantado y el Hilo de Contacto

7.2.7. GÁLIBO DE LAS ESTRUCTURAS SOPORTE

Las estructuras de soporte de la L.A.C. se colocan de acuerdo con los gálibos establecidos en la ficha UIC 506 OR [UIC 506 OR, 2000].

7.2.8. DISTANCIAS DE SEGURIDAD AL MATERIAL RODANTE

La distancia mínima entre la envolvente de gálibos del material rodante a la L.A.C es de 250 mm.

7.2.9. DISTANCIAS DE SEGURIDAD AL PANTÓGRAFO

En vía general, sin limitación de velocidades, la distancia de seguridad desde las obras de fábrica a la parte superior del pantógrafo no será menor que la indicada en la Norma UIC 799 OR que es:

- En condiciones estáticas:
 - Altura del hilo de contacto = 5,3 m
 - Elevación estática = 70 mm
 - Desgaste del hilo de contacto = 20%
 - Distancia de seguridad eléctrica = 250 mm



➤ En condiciones dinámicas:

- Elevación dinámica <120 mm (oscilación de la altura del hilo de contacto con respecto a las condiciones estáticas)
- Desgaste del hilo de contacto = 20%
- Distancia de seguridad dinámica = 200 mm

El gálibo del pantógrafo estará de acuerdo con la Norma UIC de gálibos citada anteriormente.

No obstante a lo anterior, en el diseño se han respetado los valores de distancias eléctricas indicadas en el apartado 7.2.5.

7.2.10. RANGO DE TEMPERATURAS DEL AMBIENTE

De acuerdo con la publicación del Ministerio de Obras Públicas "Acciones a que deben considerarse sometidas la Líneas Aéreas de contacto de las electrificaciones de Ferrocarriles", aprobada por Orden Ministerial de 6 de julio de 1945, el rango máximo de temperaturas conocido en las zonas que recorre la línea es de -25°C, hasta 40°C. No obstante, todos los elementos admiten temperaturas de 80°C y -30°C.

7.2.11. TEMPERATURA DE LOS CONDUCTORES

Por efectos de radiación solar y calentamiento resistivo, los conductores pueden alcanzar temperaturas no superiores a los 80°C, para lo que el Reglamento de Líneas aéreas determina la densidad de corriente admisible para cada tipo de conductor, material y composición.

7.2.12. VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con la publicación citada anteriormente del Ministerio de Obras públicas sobre acciones a considerar sobre Líneas aéreas de contacto, la velocidad de viento a considerar es de 120 km/h. No obstante, se considerarán velocidades de viento de 133 km/h en zonas en que la vía vaya más de 100 m por encima del terreno natural, y velocidades de 180 km/h cuando además coincida ser una zona de vientos extremos.

En el tramo objeto del estudio se ha considerado la velocidad del viento de 120 km/h.

7.2.13. SOBRECARGA DE HIELO

La sobrecarga de hielo a considerar está de acuerdo con el Reglamento de Líneas aéreas, teniendo en cuenta que una parte de la línea discurre por zonas de altitud superior a los 500 m. Esta sobrecarga se emplea en el cálculo de los cables no compensados.

7.2.14. POLUCIÓN

Se ha considerado la clasificación de la publicación EN 50119 [UNE-EN-50119, 2002] para la definición del grado de polución y la Publicación 815 de la Comisión Electrotécnica Internacional (C.E.I.) para el



diseño de líneas de fuga. Para la definición de las distancias de seguridad en función de la polución, se ha empleado la ficha UIC 606-1.

7.2.15. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Todos los elementos de la línea van protegidos adecuadamente contra la corrosión. Esta protección pasa por la utilización de piezas de aluminio y de acero inoxidable en elementos de pequeño tamaño y la adopción de medidas adecuadas en piezas de tamaño mayor en que sea aconsejable el empleo de acero, en que los materiales van galvanizados y pintados.

Todos los materiales cumplirán con los estándares y Normas relativos a espesores de recubrimiento.

7.3. CONFIGURACIÓN DEL EQUIPAMIENTO Y CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA

7.3.1. GENERALIDADES

El diseño para el tramo es el de una catenaria compensada de acuerdo con las Normas UIC.

7.3.2. CALIDAD DE LA CAPTACIÓN DE CORRIENTE

En las pruebas reales efectuadas con el tren de pruebas de ADIF en la línea Madrid-Lleida-Barcelona, en el tramo Madrid-Roda de Bará [SEMELCO, 2005], se constató que la calidad de captación de corriente de la catenaria a velocidad de 362 km/h, máxima alcanzada por limitaciones del tren, era semejante o superior a la obtenida a velocidad de 270 km/h en la catenaria del AVE Madrid-Sevilla.

7.3.3. ELEVACIÓN DEL HILO DE CONTACTO

En las pruebas reales de la catenaria proyectada, la elevación medida en un apoyo de vía general al paso del pantógrafo a la velocidad de 350 km/h ha sido de 70 mm, muy inferior al límite impuesto por la UIC de 120 mm.

7.3.4. ALTURA DEL HILO DE CONTACTO

La altura del hilo de contacto, medida en un soporte debe mantenerse inalterable en el valor de 5,3 m en todo el trayecto sin limitación de velocidad. Cuando por las características del trazado fuera necesario reducir la velocidad por debajo de los 200 km/h, la altura del hilo de contacto podría reducirse con una transición de longitud tal que la pendiente del hilo no supere el 1‰ en ningún momento.

Si fuera necesario reducir la altura del hilo de contacto por no haber gálibo en alguna obra civil, sería necesario reducir la velocidad por debajo de los 200 km/h en toda la zona de transición de alturas.



En cualquier caso la altura del hilo de contacto no debe ser inferior a los 5 m para velocidades de más de 160 km/h, y en caso de ser preciso disminuir esta altura, la velocidad se reducirá a 100 km/h para alturas de 4,75 m.

7.3.5. ATIRANTADO

El hilo de contacto se atiranta 200 mm alternativamente en cada poste. En curvas debe cuidarse que el vano no subtienda flechas de la vía superiores a los 40 cm.

En curvas de radio entre los 5000 y los 1200 m el atirantado se hará con valores + 200 mm para postes en el interior de la curva y de -200 mm en postes situados en el exterior de la curva. En radios superiores a los 5000 m el atirantado será, como en rectas, alternativo dentro y fuera de 20 cm.

7.3.6. DESVIACIÓN DEL HILO DE CONTACTO

Con el sistema de atirantado descrito en el párrafo anterior, la máxima desviación del hilo de contacto respecto al eje del pantógrafo, en condiciones normales será de 200 mm en vía general y de 300 mm en ejes de seccionamiento. En caso de viento máximo, la desviación en el centro del vano sería de 170 mm. Para el caso particular de curva de radio 1200 m y vano de 64 m, la flecha máxima sería de 320 mm, valor por debajo de los 400 mm que indica la norma [UNE 50119:2002].

En puntos especiales es recomendable disminuir el vano en zonas con viento superior a los 133 km/h, de modo que la desviación máxima del hilo no supere los 400 mm.

7.3.7. LONGITUDES DE COMPENSACIÓN

La distancia entre puntos fijos y anclajes de compensación debe fijarse de modo que la calidad de la captación de corriente se mantenga dentro de límites aceptables dentro del rango de temperaturas.

Asimismo, debe tenerse en cuenta esta distancia en la ejecución de la electrificación de desvíos.

El valor adoptado como máxima distancia entre el punto fijo y el anclaje es de 640 m.

7.4. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

La catenaria diseñada es capaz de dar servicio con muy buena calidad de captación, sin calentamiento excesivo y con caídas de tensión admisibles en los casos más desfavorables, con la situación de subestaciones y autotransformadores.

Estos casos más desfavorables considerados son:

- En funcionamiento normal, tráfico de trenes de 17.600 KW en llanta (20.00 KW eléctricos), circulando cada 3 minutos, de acuerdo con la definición UIC de líneas de 1ª Categoría, tipo A.
- En funcionamiento degradado, con avería en Subestaciones alternadas, con el tráfico máximo previsto en el día más desfavorable con horizonte 2025.



7.4.1. DISEÑO DE LOS CONDUCTORES

Los conductores están diseñados de modo que son capaces de conducir las corrientes que se originan al paso de los trenes en las condiciones más desfavorables sin calentamiento excesivo.

Las intensidades medias cuadráticas incluso en casos de funcionamiento degradado, son inferiores a las admitidas en el Reglamento de Líneas aéreas.

7.4.2. SECCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS

Para facilitar la operación de la línea se han previsto, aparte de las zonas neutras que separan distintas fases de alimentación, seccionamientos eléctricos que permiten aislar zonas de vías con avería de modo que sea posible continuar con la operación de la línea. En estos seccionamientos eléctricos se colocan seccionadores de apertura en carga, que permiten interrumpir y reponer la continuidad eléctrica de los distintos tramos de línea. Estos seccionadores están provistos de una cámara de vacío que permite la ruptura de corrientes de hasta 2000 A.

7.5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS

7.5.1. ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Los postes de sujeción de la L.A.C. se han diseñado de acuerdo con las Normas UIC o Normas Nacionales en su caso. Se han calculado para los esfuerzos máximos de peso, viento y esfuerzo lateral transmitido por la catenaria, y se ha comprobado su funcionamiento para el caso de viento longitudinal a la vía.

En cuanto a las fundaciones, se han calculado utilizando el método de la O.R.E. desarrollado por la UIC, al que se ha mejorado su fiabilidad considerando un peso de macizo más poste disminuido en un 50%. Para el cálculo de macizos de anclaje no se ha considerado el peso del macizo.

Tanto los postes como los pórticos rígidos estudiados para este Proyecto son de acero galvanizado recubierto de una o dos capas de pintura, en función del riesgo de corrosión que presente cada tramo de línea.

7.5.2. TOLERANCIAS DE INSTALACIÓN

Dado que la instalación de las fundaciones y soportes deberá efectuarse en muchos casos, bien sin vía o con la vía en situación provisional, deberán emplearse las referencias teóricas y marcas de los instaladores de la vía.

La posición de fundaciones y soportes en relación con la posición teórica de la vía no debe diferir de la teórica más de 10 cm.

El montaje de ménsulas y catenaria debe hacerse con la vía en primera nivelación, pero las tolerancias de altura y posición del hilo de contacto son de +1 cm, menores que las tolerancias absolutas de la vía.



Por lo tanto, y para evitar posibles diferencias entre la posición teórica de la vía y la definitiva, diferencias que no son controlables por el constructor de catenaria, se utilizarán ménsulas que permiten la corrección de alturas y descentramientos de la catenaria después de construida, originadas por variaciones de la posición de la vía respecto a la teórica, sin modificar el pendolado, hasta diferencias de altura de 15 cm y descentramientos de 10 cm en ambas direcciones.

Esta posibilidad de regulación es muy importante en el mantenimiento posterior, pues permite que las modificaciones en el peralte de las vías o en la alineación que se producen en el mantenimiento diario de la vía, puedan corregirse fácilmente sin sustituir las ménsulas.

7.6. DISEÑO DE EQUIPOS DE SUSPENSIÓN Y ATIRANTADO

En vía general la disposición de los equipos es sobre ménsulas de tubo trianguladas y aisladas.

Cuando es necesario suspender varias catenarias pueden emplearse disposiciones de doble y triple ménsula sobre el mismo apoyo y, si es necesario se emplean pórticos rígidos o voladizos soporte de ménsulas sobre los que se apoyan los equipos de ménsulas. La instalación debe garantizar la independencia eléctrica de los equipos que soporten tensiones diferentes, y siempre que sea posible se instalarán los aislamientos de modo que todas las ménsulas sobre el mismo soporte estén sometidas a la misma tensión.

En casos como ejes de seccionamiento de aire o zonas neutras en que obligatoriamente debe preverse la existencia de tensiones diferentes en el mismo apoyo, se prevén las distancias eléctricas necesarias tal como se ha indicado anteriormente.

O del mismo modo, cada ménsula debe tener la posibilidad de moverse libremente entre los límites de temperaturas admitidos sin interferir con el movimiento de otras ménsulas situadas en el mismo soporte.

Los soportes y dispositivos de atirantado tienen como misión minimizar los movimientos del conductor de contacto con respecto a la vía y deben ser estables incluso con viento en dirección inversa al atirantado.

La construcción del sistema de atirantado del hilo de contacto incluye un limitador de la elevación del hilo de contacto, útil en casos extraordinarios, ya que como se ha indicado anteriormente, la elevación registrada del hilo a 350 km/h es de 70 mm.

La sujeción del hilo de contacto a péndolas y atirantados se efectúa utilizando la ranura del hilo.

7.7. DISEÑO DE EQUIPOS DE COMPENSACIÓN DE TENSIONES

La tensión del sustentador, así como el hilo de contacto, van compensados automáticamente mediante poleas y pesos apropiados, independientemente uno del otro.

En el centro aproximadamente entre dos equipos de contrapesos, se coloca un punto fijo que impide el desplazamiento de la catenaria. El hilo de contacto se fija al sustentador en la dirección que impida el movimiento del mismo en caso de pendiente superior a las 2 milésimas. Para pendientes inferiores, medidas entre el punto fijo y el equipo de contrapeso, la sujeción de las péndolas es suficiente para impedir el movimiento del hilo.

La tensión mecánica de regulación del sustentador es de 15,75 kN mediante una polea de relación 1/3. La tensión del contacto de 31,5 kN se compensa mediante poleas de relación 1/5. (Figura 7.3)

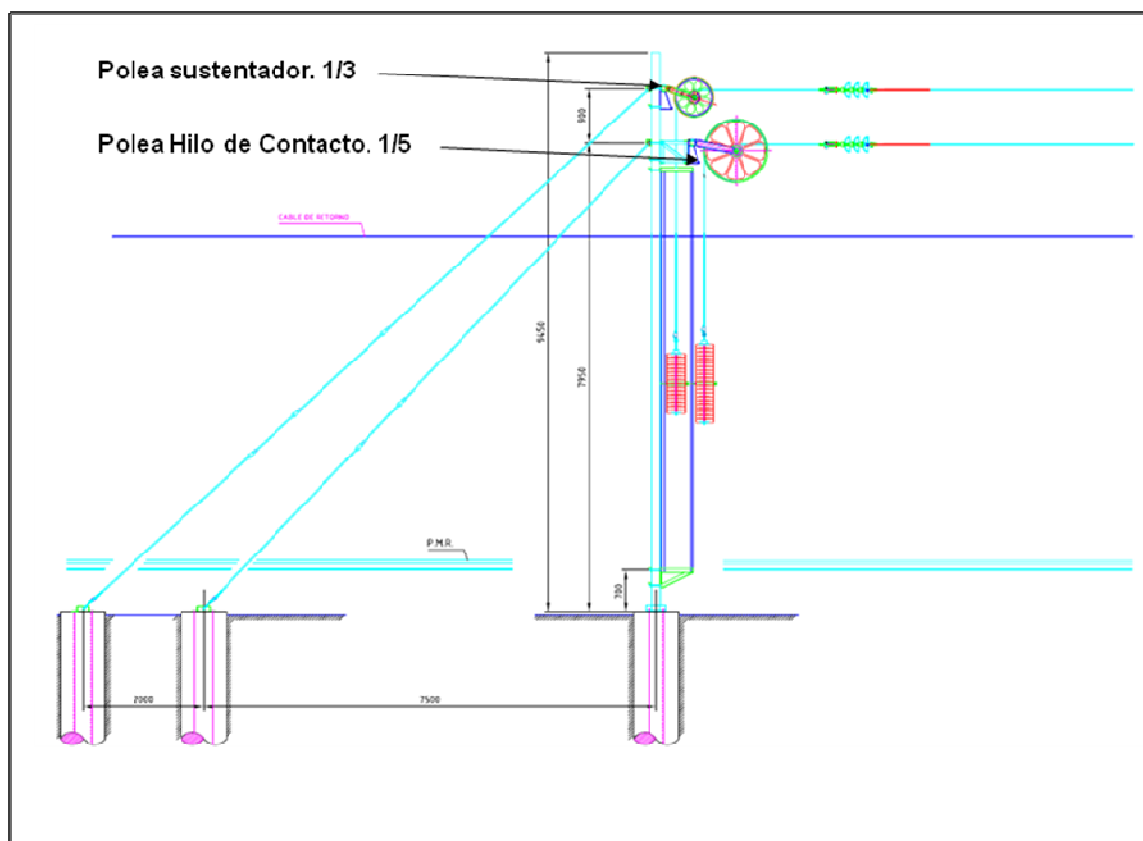


Figura 7.3. Poleas de Compensación de tensiones en el sustentador y en el hilo de contacto

Los equipos de sujeción de la polea van equipados de un dispositivo que impide los movimientos de los contrapesos, tanto de balanceo por el viento como de caída en caso de rotura del conductor.

El desgaste del hilo del 20% se produce aproximadamente con 2 millones de pasadas.

En ese momento el hilo de contacto debe sustituirse pero hasta ese momento no es preciso disminuir la tensión.

7.8. DISEÑO DE COMPONENTES

7.8.1. HILO DE CONTACTO

El hilo de contacto, cuya composición ha sido elegida tras un concienzudo estudio de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, en su cátedra de Metalotecnia, de las distintas posibilidades de las diferentes aleaciones posibles, cumple con las Especificaciones de la Norma EN 50149 [UNE-EN-50149, 2007]. La aleación elegida es un bronce Cu-Mg de elevadas prestaciones mecánicas que ha sido



recomendado en el estudio frente a aleaciones con estaño, aleaciones con plata y adiciones de Zr, todas ellas consideradas en el estudio.

7.8.2. CONDUCTORES Y CONEXIONES

Los conductores empleados son de cobre, bronce o aluminio-acero. Cuando cobre y aluminio deban conectarse se hará a través de elementos bimetálicos (lámina bimetálica) que eviten la corrosión electrolítica de los cables.

Las conexiones deberán resistir las corrientes a conducir, así como las de cortocircuito que instantáneamente pueda circular por ellas, sin fundirse o perder sus características eléctricas ni mecánicas.

Se ha elegido una sección de péndolas que asegure lo anterior para evitar conexiones sustentador-hilos de contacto aislados que siempre son causa de puntos duros y zonas de calentamiento puntual de los conductores.

Las conexiones de *feeder* a catenaria deben tener la sección equivalente a la suma de secciones equivalentes de sustentador e hilo de contacto, y las conexiones de seccionamientos y de paralelismo deben tener secciones equivalentes a las secciones a conectar.

Se emplearán para conexiones conductores sin tensión mecánica o varillas, que deberán tener la sujeción necesaria para que su posición esté controlada siempre ante efectos del viento, de las vibraciones producidas por el tren o por los efectos mecánicos de los cortocircuitos.

7.8.3. PÉNDOLAS

De acuerdo con la ficha 799 OR del grupo de trabajo 57 H de la UIC [UIC 799 OR, 2000], la separación entre péndolas debe ser menor de 9,5 m para limitar las flechas del hilo de contacto entre péndolas.

Las conexiones con sustentador e hilo de contacto deben ser robustas y seguras para asegurar el contacto eléctrico para lo cual se emplean grifas de compresión. La sección de las péndolas, de 16 mm² asegura una transmisión de corriente sin riesgos de calentamiento excesivo de los hilos.

Para reducir la afección del viento sobre la catenaria se instalarán péndolas antiviento en los brazos de atirantado de ménsulas de atirantado exterior (las ménsulas de atirantado interior disponen de brazo de triangulación). Estas péndolas antiviento son de acero que sujetará el brazo de atirantado arrostrándolo con el tubo de ménsula.

7.8.4. ZONAS NEUTRAS

Cuando el tren circula por la zona neutra, el pantógrafo no debe absorber corriente, por lo que, para el caso en que circule con el pantógrafo levantado, es necesario prever una señal que abra el disyuntor del pantógrafo al llegar a la zona neutra.

La longitud de la zona neutra prevista es de 402 m como mínimo, de acuerdo con la Norma de Interoperabilidad, Subsistema de Energía [2002/733/CE].



La zona neutra está formada por seccionamientos con separación de 500 mm entre los conductores paralelos.

7.8.5. AISLADORES DE SECCIÓN

Los aisladores de sección no se emplearán en catenarias que deban ser circuladas a velocidades superiores a los 100 km/h.

Se emplearán aisladores que permitan el paso del tren en ambas direcciones.

7.8.6. SECCIONADORES

Se emplearán seccionadores de cuchillas con giro en uno de sus extremos y con posibilidad de apertura en carga de la corriente nominal en aquellos puntos en que sea preciso efectuar maniobras sobre una catenaria de vía principal (seccionadores de los seccionamientos de aire).

En puestos en paralelo y maniobras sobre vías secundarias (puenteo de aisladores de sección) se emplearán seccionadores con apertura en vacío.

Los seccionadores de 1x25 son unipolares y los de 2x25 son bipolares con un único mando excepto en los de alimentación a zonas neutras que pueden ser unipolares.

El mando eléctrico habrá de ser telemandado y estar dotado de los contactos auxiliares necesarios para señalar su posición, e indicar la presencia o ausencia de tensión en cada lado de la línea a conectar. La alimentación de los mandos de los seccionadores se hará desde el Edificio Técnico más próximo o desde un transformador situado en las proximidades.

7.8.7. AISLADORES

Los aisladores a emplear serán de porcelana o de vidrio templado.

Se emplearán aisladores de vidrio en aquellos puntos en que el aislador esté sometido a esfuerzos de tracción superiores a los 2 kN.

En los casos en que los aisladores estén sometidos a esfuerzos alternativos, como es el caso de algunos tirantes de ménsula, se emplearán aisladores de porcelana, cuyo coeficiente de seguridad sea superior a 8.

Para suspensión de *feeders* y anclaje de cualquier cola se emplearán aisladores de vidrio templado.

Los ensayos de los aisladores se harán de acuerdo con las Especificaciones de la Comisión Electrotecnia Internacional.

Para la elección de la línea de fuga de los aisladores se seguirá a lo dispuesto en las Normas de la Comisión Europea Internacional (CEI)



7.8.8. EMPALMES Y TERMINALES DE CABLES

La seguridad en empalmes y preformados o terminales de anclaje es fundamental en la seguridad de la línea.

Todas las piezas sometidas a la tracción de los distintos conductores deben tener una carga de rotura mínima superior a la carga de rotura del conductor que le transmite los esfuerzos.

El hilo de contacto no tendrá empalmes en ningún caso y los preformados de anclaje tendrán una carga de rotura de 2,5 veces la carga de trabajo, como mínimo.

En el sustentador, que sí admite empalmes, tanto los empalmes como los preformados de anclaje deben tener una carga de rotura de 2 veces la carga de rotura del sustentador.

Para los *feeders*, la carga de rotura de los empalmes y terminales de tracción deberá ser al menos 5 veces superior a la máxima tensión a que pueda estar sometido cada cable en las peores condiciones posibles.

Los ensayos de rotura de empalmes y terminales deben ser exhaustivos y muy cuidadosos.

7.9. FIABILIDAD

El diseño de todos los elementos de la catenaria se ha hecho teniendo en cuenta los del mantenimiento posterior de la instalación.

Se han buscado elementos y disposiciones que no presenten riesgos de rotura, que faciliten el mantenimiento preventivo y los tiempos de actuación e igualmente el mantenimiento correctivo.

Fruto de esta preocupación ha sido el diseño de postes metálicos galvanizados y pintados cuyo peso permite su sustitución inmediata en caso de avería, la elección de ménsulas de aluminio con un único diámetro de tubos para todas las aplicaciones y, por tanto, un único tipo de piezas, la posibilidad de regulación en altura y descentramiento de la catenaria sin sustitución de los conjuntos de ménsula, etc.

7.10. DISPONIBILIDAD

El diseño de la L.A.C. y de sus componentes se ha hecho de modo que permita una máxima disponibilidad de la línea.

El sistema permite la total independencia mecánica de los soportes de cada catenaria siempre que sea posible y la disposición de seccionamientos de aire permite la independencia eléctrica en caso de avería en alguna parte de la instalación utilizando para la maniobra los seccionadores de línea sin necesidad de recurrir a los disyuntores de la Subestación.

Asimismo, el diseño permite la utilización de la L.A.C. en caso de avería en una Subestación, alimentando tramos de mayor longitud sin que se superen las caídas de tensión o intensidades admisibles en los conductores.



Se ha buscado que la posición de los equipos y su acceso permitan un fácil mantenimiento y una disponibilidad máxima de la instalación.

7.11. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

El diseño de la catenaria se ha hecho de modo que su impacto medioambiental sea mínimo. En ese sentido se han empleado postes metálicos de poco volumen, galvanizados y pintados en un color elegido tras múltiples ensayos, que asegura un impacto visual muy atenuado.

El ruido producido por el paso del pantógrafo, y siempre que se empleen pletinas de grafito, es inferior al producido por la rodadura y por el desplazamiento del aire al paso del tren.

En cuanto a la apariencia estética, si bien es una cuestión opinable, el diseño de cimentaciones, postes, pórticos rígidos, ménsulas, etc., dentro de las exigencias de cumplimiento de sus funciones técnicas, se ha procurado tenga las adecuadas proporciones estéticas que hagan agradable a la vista el conjunto de la instalación.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

8. DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA
ADOPTADA

CAPÍTULO 8

DESCRIPCIÓN DE LA CATENARIA ADOPTADA



8. CARACTERÍSTICAS DE LA CATENARIA ADOPTADA

En este capítulo se pretende definir la composición, dimensiones y demás características de la catenaria adoptada para el presente proyecto de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia, tramo Olmedo-Zamora, y que en los posteriores capítulos se justificarán mediante los correspondientes cálculos.

Como ya se comentó en el Capítulo 7, el tipo de catenaria propuesto es el empleado por ADIF en los tramos Madrid – Lérida, Lérida – Barcelona y Córdoba – Málaga. La tensión nominal es de 25 kV, empleándose el tipo de alimentación denominado 2x25 kV,

El sistema de línea aérea de contacto que se adopta se compone de las siguientes partes:

- Catenaria propiamente dicha: formada por un cable sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales.
- Elementos de sustentación: cimentaciones, ménsulas, postes y pórticos.
- Elementos de conexión: seccionadores, cables.
- Circuito de retorno.
- Protecciones.

8.1. ASPECTOS MECÁNICOS GENERALES DE LA CATENARIA

La catenaria del ADIF para 350 km/h se equipa mediante postes metálicos con ménsulas giratorias que soportan los conductores de la catenaria propiamente dicha, sustentador e hilo de contacto, más los conductores auxiliares necesarios para su correcto funcionamiento eléctrico, es decir, el *feeder* de aumento de sección, el cable de retorno y el *feeder* negativo en su caso.

8.1.1. ESTÁTICOS

8.1.1.1. Composición y disposición de los conductores

La catenaria propiamente dicha está formada por un sustentador de cobre de 100 mm que se instala con una tensión constante, compensada, de 1575 kgf y un hilo de contacto de 150 mm de una aleación Cu-Mg 0,6 de gran resistencia, instalado con una tensión mecánica de 3150 kgf, con tensión mecánica compensada. En las catenarias de vías secundarias y en zonas con curvas de menos de 3000 m de radio, se emplea una tensión del hilo de 1575 kgf para evitar esfuerzos radiales innecesarios.

Los estudios del perfil, con el tráfico que exige la norma CENELEC para líneas de primera categoría, es decir, trenes de 20.000 MW cada 3 minutos, dan como resultado que en el tramo de línea objeto del estudio, alimentado en el sistema 2x25, en condiciones normales de explotación, con todas las Subestaciones alimentando a la catenaria, bastaría con instalar una catenaria sencilla, sin *feeder* de aumento de sección, con un *feeder* negativo de cable LA-380 y un cable de retorno de cable LA-110.

Por tanto la composición de la catenaria es la siguiente (*Figura 8.1*):

- Catenaria (Sust 100+HC 150)
- Feeder negativo de cable LA-380
- Feeder positivo de cable LA-180
- Cable de retorno de cable LA-110

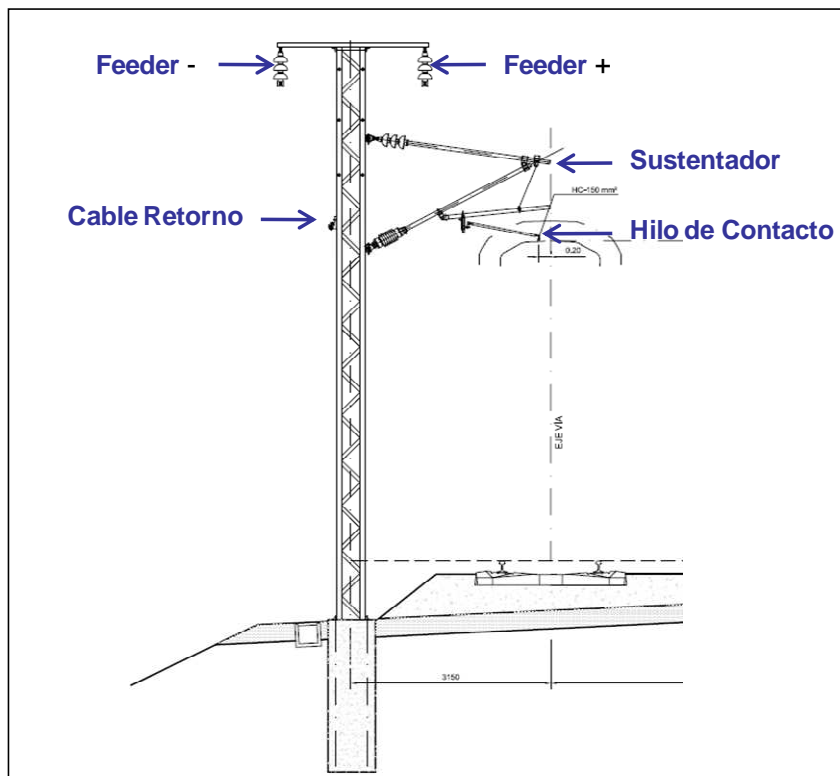


Figura 8.1. Composición de la Catenaria

En estaciones, y siempre que la disposición de las vías lo permita, se emplean perfiles de vía general o al menos independientes, con el número de ménsulas necesarias para la función que desarrolle el perfil.

No obstante, tanto en los cambios como en los perfiles próximos al arranque de vías secundarias, no siempre es posible el empleo de postes independientes, empleándose entonces pórticos rígidos.

En los viaductos los postes deben situarse sobre los pilares, o lo más próximo a ellos, para evitar vibraciones debidas a la flexión de las vigas.

8.1.1.2. Compensación de tensiones

La tensión mecánica de los conductores que componen la catenaria, es decir sustentador e hilo de contacto son fijas e independientes de la temperatura.

Para ello, cada 1280 m como máximo, se anclan sustentador e hilo de contacto, independientemente, a una polea de contrapesos que mantiene la tensión de los cables en los valores de 1575 kgf y 3150 kgf respectivamente. Dada la diferencia de tensiones de sustentador e hilo, la polea del sustentador es de relación 1/3 y la del hilo de contacto, de relación 1/5. (Figura 8.2)



Figura 8.2. Equipo de Compensación

Este equipo de regulación de tensión permite la regulación de tensiones entre los -30°C y los $+80^{\circ}\text{C}$ de temperatura del conductor, que se corresponden a temperaturas del ambiente entre -30° y $+45^{\circ}$ aproximadamente.

En el punto central entre dos equipos de contrapesos, se instala un punto fijo que hace que el sustentador no se mueva. Si el tramo es sensiblemente horizontal, normalmente no es necesario colocar fijaciones entre el sustentador y el hilo de contacto, y si hay una pendiente superior a 2 milésimas entre anclajes, se coloca una fijación del hilo de contacto al sustentador en el lado que impida el deslizamiento del hilo hacia la parte más baja. Cuando la distancia entre dos anclajes de una misma catenaria sea igual o inferior a los 640 m, situación que se presenta frecuentemente en Estaciones, se colocan contrapesos en un solo lado anclándose el otro lado sin compensar.

Al calentarse un cuerpo este experimenta un incremento de sus dimensiones, se produce un aumento de la longitud que, aproximadamente, es proporcional a su longitud inicial y al incremento de temperatura.

Si consideramos l_1 y l_2 , las longitudes inicial y final, y α , la constante de proporcionalidad, se verifica que:

Variación de longitud:
$$\Delta l = \alpha \cdot l_1 \cdot \Delta t$$

La constante α se denomina coeficiente de dilatación lineal y depende de la naturaleza del cuerpo, representando físicamente la variación de longitud por unidad de longitud y grado de temperatura.



Cobre: $\alpha = 1,69 \times 10^{-5} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$

Se ha adoptado el valor de 640 m como valor máximo del semicantón de compensación. Los límites de temperatura contemplados son $-20^\circ C$ y $80^\circ C$. Situándonos en el caso mas desfavorable, la variación máxima de longitud que sufren el sustentador y el hilo de contacto debido a la variación de temperatura es:

$$d = 640 \cdot [80 - (-20)] \cdot 16,9 \cdot 10^{-6} = 1,024 \text{ m}$$

El hilo de contacto lleva una polea de relación 1:5, por lo que el desplazamiento del equipo de compensación será:

$$1,024m \cdot 5 = 5,12 \text{ m}$$

Sumando el recorrido de las 21 pesas (1,3 m) que proporcionan la tensión necesaria del hilo de contacto, se obtiene una altura libre de 6,42 m, que es asegurada por la altura de los postes de anclaje (9.45 m) y la configuración del equipo de compensación.

8.1.1.3. Seccionamientos de compensación

Cuando los vanos son mayores de 50 m, como es el caso de rectas y de curvas de radio 5000 m, los seccionamientos de compensación se confeccionan en cuatro vanos. En los tramos en curva de radio igual a 1200 m, donde el vano es menor de 50 m, el seccionamiento se haría en cinco vanos.

8.1.1.4. Seccionamientos eléctricos o de lámina de aire

El diseño de este seccionamiento de lámina de aire, se ha hecho de modo que todas las piezas sean iguales a las del seccionamiento de cantón, del que se diferencia en la existencia del seccionador y en la situación de los aislamientos de las colas. Con el fin de evitar que la cola aislada quede con una tensión flotante, se conecta a la catenaria próxima en tensión mediante una alimentación desde el sustentador en tensión a la ménsula que quedaría aislada y que, de este modo tiene la misma tensión que la situada en el mismo poste.

8.1.1.5. Zonas neutras

La posición de las zonas neutras, siempre que ha sido posible, se ha elegido coincidiendo con una vaguada para disminuir la pérdida de velocidad al quedar el tren sin alimentación.

Las zonas neutras proyectadas tienen una longitud de más de 402 m tal y como exige la Norma de Interoperabilidad de infraestructuras. [2002/732/CE]

8.1.1.6. Pendolado. Elasticidad de la catenaria

El hilo de contacto se suspende del sustentador por medio de péndolas. Con el fin de mejorar la homogeneidad de la elasticidad a lo largo del vano se recurre al empleo de péndola en Y, con lo que se



ha conseguido un factor de irregularidad de menos del 10%, frente al 25% que resulta normal en catenarias sin péndola en Y. [SEMELCO, 2005].

Las péndolas son de trenza de bronce de 16 mm de sección y aseguran por su sistema de fijación, tipo lazo, una buena conexión eléctrica entre sustentador e hilo de contacto.

Para reducir la afección del viento sobre la catenaria se instalan péndolas antiviento en los brazos de atirantado en ménsulas de atirantado exterior (las ménsulas de atirantado interior disponen de brazo de triangulación).

8.1.1.7. Agujas

Para la confección de las agujas aéreas se han distinguido dos tipos:

➤ Agujas para velocidad < 160 km/h

Las agujas para menos de 160 km/h son tangenciales y la catenaria de la vía desviada se atiranta de modo que el pantógrafo que pasa por la general no tiene ningún contacto con la catenaria de la vía desviada. Por el contrario, si se pretende entrar en la desviada, a velocidad inferior a los 160 km/h, el pantógrafo encuentra la catenaria de punta y elevada en el momento del contacto, con lo que entra en contacto de forma similar a como lo haría en un seccionamiento.

Cuando el ataque es desde la desviada a la general, este ataque es lateral y desde un plano más bajo, pues la catenaria desviada va 5 cm más baja que la general.

En una aguja para velocidades menores de 160 km/h hasta 100 km/h se colocará un aislador de sección en la vía desviada para separarla eléctricamente de la general, y si el cambio es de más de 100 km/h, es preciso instalar un seccionamiento de aire pues un aislador de sección a esas velocidades produce unas extracorrentes de ruptura que destruirían en pocas pasadas, aislador, contacto y pantógrafo.

Si se trata de un escape entre dos generales, y los cambios son de más de 100 km/h, el escape se forma con dos catenarias, cada una de las cuales hace la aguja de un lado del modo descrito anteriormente, y una y otra catenaria forman un seccionamiento de aire en el centro del escape.

➤ Agujas para velocidad > 160 km/h

Las agujas de alta velocidad, para velocidades de más de 160 km/h, se construyen de modo que el pantógrafo, cualquiera que sea su trayectoria, bien desde la general hacia la desviada o viceversa, y en cualquier sentido, sólo es atacado por catenarias que vienen de arriba hacia abajo, nunca lateralmente. No existe, por tanto, por condicionantes de catenaria, ninguna limitación de velocidad.

8.1.2. DINÁMICOS

La catenaria proyectada cumple con los requisitos de la ficha 799 OR del Grupo de Trabajo SC 57H3 de la UIC [UIC 799 OR, 2000], en cuanto a los requisitos dinámicos se refiere, para poder ser circulada a una velocidad de 350 km/h + 10%

8.1.2.1. Parámetros dinámicos

El diseño de los equipos de la línea aérea de contacto se corresponde con los requisitos exigidos al comportamiento dinámico. La elevación a la velocidad de diseño de la línea cumplirá lo dispuesto en la norma EN-50 119 [UNE-EN-50119, 2002], y lo indicado en la E.T.I Subsistema Energía [2002/733/CE].

La calidad de captación de corriente tiene una repercusión fundamental sobre la vida útil de un hilo de contacto y debe cumplir parámetros acordados y medibles.

La calidad de captación de corriente puede evaluarse por la media F_m y la desviación estándar de los esfuerzos sobre la catenaria, medidos o simulados, o por el número de cebados.

En la Figura 8.3 se muestra la fuerza de contacto media F_m en función de la velocidad de circulación.

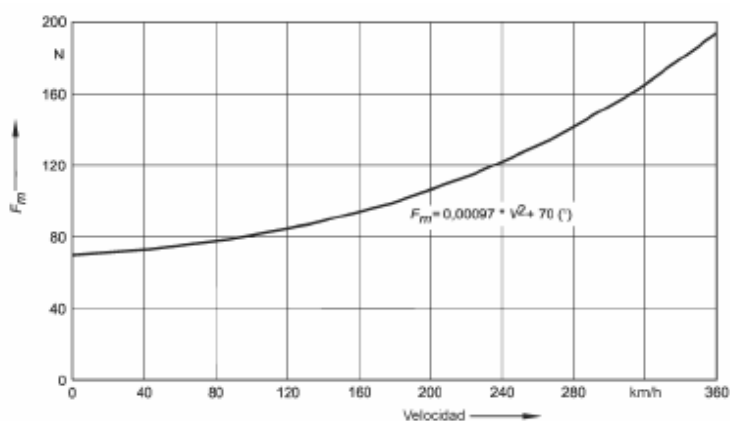


Figura 8.3 F_m en función de la Velocidad de Circulación

Los valores de los distintos parámetros son:

- La velocidad de propagación de ondas por los hilos de contacto es un parámetro característico para evaluar la idoneidad de una línea de contacto para un servicio de alta velocidad. Este parámetro depende de la masa específica y del esfuerzo del hilo de contacto. La velocidad máxima de explotación no será superior al 70% de la velocidad de propagación de ondas. Velocidad exigida por la Norma [2002/732/CE]: $> V_{max} + 40$ m/seg. (146,94 m/seg.).

La velocidad de propagación de la onda a lo largo del hilo de contacto es:

$$V_{max} (km/h) = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \cdot 70\% = \sqrt{\frac{3150 \text{ kgf} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2}{1.335 \text{ Kg/m}}} \cdot 70\% = 106.5 \text{ m/s} = 383.4 \text{ km/h}$$

Donde T es la tensión en el hilo de contacto en kgf, y μ es el peso lineal de hilo de contacto en kg/m.

Se puede apreciar como es superior a la velocidad de operación de la línea, 350 km/h.



- Elasticidad y su uniformidad: La elasticidad y uniformidad en toda la luz son esenciales para que la captación de corriente sea de alta calidad y para reducir el desgaste. La uniformidad de la elasticidad puede evaluarse por el factor de uniformidad:

$$u = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \cdot 100(\%)$$

Donde:

e_{\max} = elasticidad máxima en la luz

e_{\min} = elasticidad mínima en la luz

En las líneas de alta velocidad, la elasticidad a mitad de luz debe limitarse a valores inferiores a 0,5 mm/N.

- Factor de reflexión: 0,37
- Factor de reflexión exigido por la Norma: <0,4
- Factor Doppler para 350 km/h: 0,22
- Factor Doppler para 385 km/h: 0,18
- Factor Doppler exigido por la Norma: >0,17
- Factor de amplificación para 350 km/h: 1,65
- Factor de amplificación para 385 km/h: 2,06
- Factor de amplificación exigido por la Norma: <2,10
- Desviación estándar a la velocidad máxima exigida por la Norma: 3,3 Fm.
- Desviación lateral admisible del hilo de contacto por efecto de un viento cruzado, según la norma: <400 mm

8.1.2.2. Pruebas de validación

La evolución de la confirmación, según la E.T.I., puede basarse en los resultados de los ensayos realizados en un sistema similar de línea aérea de contacto.

Todos estos valores teóricos, que indican el probable buen comportamiento de la catenaria, se han confirmado con las pruebas efectuadas en el tramo Madrid-Barcelona.

8.2. ASPECTOS ELÉCTRICOS DE LA CATENARIA

La catenaria proyectada cumple con todas las exigencias de las normas CENELEC para equipar una línea de Alta Velocidad de 1ª Categoría.



En efecto, con la disposición de Subestaciones y autotransformadores, la catenaria permite la circulación de trenes de 17,6 MW en llanta (20 MW eléctricos) cada 3 minutos, en ambos sentidos, con tensiones en pantógrafo superiores a los 19.000 V. y con intensidades en los conductores inferiores a las recomendadas por el Reglamento de Líneas de Alta Tensión para las secciones de cables empleadas.

En caso de avería total en una Subestación, bien por avería en la línea de alimentación o por cualquier otra causa que pudiera afectar a las dos salidas de ambos transformadores, la catenaria tipo C-350 es capaz de dar servicio, con tensiones en pantógrafo superiores a los 19.000 V y con intensidades medias cuadráticas por debajo de los valores admitidos por el Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión.

Las dos catenarias de ambas vías van conectadas en paralelo en todos los puestos de autotransformadores.

En las estaciones y en los puestos de banalización (PB) se instalan seccionamientos de aire para poder aislar las posibles zonas averiadas sin que afecten al funcionamiento del resto de la instalación.

8.3. DATOS TÉCNICOS DE LA CATENARIA PROYECTADA

8.3.1. DATOS GEOMÉTRICOS

8.3.1.1. Vanos

Con velocidades de viento de 120 km/h, el vano máximo es de 64 m. De este modo el desplazamiento de la catenaria en el centro del vano queda por debajo de 17 cm. Los postes se han calculado, teniendo en cuenta la recomendación de la Norma CENELEC de que los vanos sean menores de 65 m, para velocidades del viento de 120 km/h.

No obstante, la catenaria propuesta puede emplearse con vanos mayores en caso de necesidad sin perder sus características, por ejemplo en viaductos con distancias entre pilas de más de 64 metros o menos de 40 m, siendo en esos casos necesario tener en cuenta la resistencia de los postes e insertar el tipo adecuado.

- Longitud máxima entre punto fijo y anclaje: 640 m. Longitud máxima entre dos anclajes: 1280 m.
- Numero máximo de apoyos entre anclaje y punto fijo: 15.
- Altura del hilo de contacto: 5,30 m en todos los puntos en que se circule en Alta Velocidad, con tolerancia de 1 cm de diferencia entre dos apoyos consecutivos. En caso de zonas de velocidad menor de 200 km/h, podrá reducirse la altura del hilo, siempre con pendientes de menos del 1 ‰

8.3.1.2. Altura de la catenaria. Altura de los Sustentadores

- Vía General: 1,40 m por encima del hilo de contacto.
- Seccionamientos: 1,40 m/2,30 m por encima del hilo de contacto.
- Zonas neutras 1,4 m/2,50 m por encima del hilo de contacto.
- Perfiles con tres ménsulas: 1,5 m/2,0 m/2,50 m por encima del hilo de contacto.



8.3.1.3. Descentramientos

En determinados casos puntuales puede ser necesario adoptar otras alturas de catenaria para mantener las distancias eléctricas.

- En vía General ± 20 cm.
- En Eje de seccionamiento: + 20-30 cm

8.3.2. DATOS MECÁNICOS

- Velocidad máxima del viento: 33 m/s.
- Rango de temperaturas ambientales: $+45^{\circ}\text{C}$ -30°C
- Desviación de catenaria con el viento: < 20 cm
- Elevación del hilo con presión de 150 N de pantógrafo: < 7 cm

8.3.3. DATOS ELÉCTRICOS

- Tensión nominal de alimentación: 27,5 KV
- Frecuencia : 50 Hz
- Temperatura máxima en los conductores: 80°C
- Intensidades máximas admisibles:
 - Sustentador: 400 A
 - Hilo de Contacto con desgaste 20%: 350 A.
 - Cable LA-110: 303 A
 - Cable LA-180: 426 A
 - Cable LA-280: 575 A
 - Cable LA-380: 712 A
- Impedancias:
 - Impedancia propia de las catenarias en paralelo (con una resistividad del terreno de $250 \Omega\text{m}$)
 - Sin *feeder* de aumento de sección: $0.0831 + 0.229.j \Omega/\text{km}$.
 - Con *feeder* de aumento de sección $0.0626 + 0.183.j \Omega/\text{km}$.
 - Impedancia propia de los *feeders* negativos LA-280 en paralelo: $0.104 + 0.0275.j \Omega/\text{km}$.



- Impedancia propia de los *feeders* negativos LA-380 en paralelo: $0.0836+0.0281.j \Omega/\text{km}$.
- Impedancia mutua *feeder*-catenaria:
- Sin *feeder* de aumento de sección: $0.0358+0.0865.j \Omega/\text{km}$.
- Con *feeder* de aumento de sección $0.0351+0.0991.j \Omega/\text{km}$.

8.4. DATOS CONSTRUCTIVOS DE LA CATENARIA

8.4.1. CIMENTACIONES

En vía general las cimentaciones son cilíndricas de 75 cm y de 100 cm de diámetro y profundidad variable dependiendo del tipo de terreno (desmonte o terraplén) y del tipo de poste. Estas cimentaciones en terreno normal se efectúan con un trépano que perfora el agujero depositando la tierra en un vehículo que acompaña a la máquina. Se utiliza hormigón de resistencia 250 daN/cm^2 .

Cuando el terreno no permite el uso del trépano por su alto contenido en piedras (caso de pedraplenes) o por la existencia de roca, se procede a la instalación de cuatro micropilotes a los cuales se fija el poste por medio de una placa.

En caso de perfiles que deban resistir cargas grandes, como postes de salida de Subestaciones, perfiles especiales de estación y otros, se emplean macizos paralelepípedicos armados.

Cuando los postes se han de fijar en viaductos, se instalarán sobre los cáncamos instalados por el constructor del viaducto de acuerdo con las dimensiones que obran en su poder.

8.4.2. POSTES

Los postes normales de la catenaria son metálicos formados por 2 UPN unidos por diagonales. Se anclan a la cimentación por intermedio de una placa que se fija con tuercas a los cáncamos que forman la armadura de la cimentación.

La altura de los postes es de 8,55 m cuando la catenaria no lleva *feeder* de aumento de sección y de 9,45 m cuando sí lo lleva y en los anclajes de compensación.

En los postes de semieje y en todos aquellos que deban soportar esfuerzos de torsión, dado que las secciones abiertas no soportan la torsión, se emplean postes cerrados con chapa de 8 mm que forman un cajón indeformable.

En el Capítulo 13, de Resistencia de los postes, se deduce la resistencia de cada composición de poste, así como los esfuerzos a que están sometidos en cada utilización, ya que las dimensiones de los perfiles variarán en función de los esfuerzos que tengan que soportar.

Los postes saldrán de la fábrica o taller con los taladros a la fijación de los mismos, a la conexión de la pica de puesta a tierra, a la fijación de ménsulas y herrajes, y un taladro adicional en cada montante para fijar el bulón (referencia topográfica).



8.4.3. PÓRTICOS RÍGIDOS

Si bien, y siempre que es posible, los postes son independientes, hay puntos en que no es posible colocar postes en las entrevías y es preciso montar pórticos que soporten varias vías.

Los pórticos rígidos serán preferiblemente autoportados. Las ménsulas se instalarán en dichos pórticos rígidos mediante los soportes adecuados.

Los pórticos a instalar estarán compuestos por vigas rectangulares de celosía, formadas por montantes de acero con perfil en "L" y diagonales, similares a los del tipo ADIF PR- 1...PR-4, según el "Memorando de línea aérea de contacto tipo RENFE" [N.R.E. L.A.C. nº6]

Las dimensiones de la viga varían en función de las cargas y de la luz del pórtico. En los casos en que la deformación del pórtico lo exija, se montarán tirantes.

8.4.4. MÉNSULAS

Las ménsulas son de aleación de aluminio de 70 mm de diámetro y espesor variable en función de los esfuerzos a que está sometida.

Estas ménsulas tienen un diseño que permite la regulación de la posición de la catenaria tanto en altura como en descentramiento, sin necesidad de sustituir la ménsula, y únicamente desplazando la posición de alguna de las piezas de ensamblaje.

Estas ménsulas presentan un dispositivo de regulación del ángulo del brazo sin necesidad de inclinar el tubo de atirantado. Es una solución sencilla que permite una gran flexibilidad a la hora de definir las dimensiones de la ménsula, que no se tenía con la anterior, que obligaba en algunos casos a ángulos poco estéticos de los tubos de atirantado.

Las ménsulas se componen de:

- Tubo de cuerpo de ménsula.
- Tubo de tirante de ménsula.
- Tubo de atirantado (Tubo estabilizador).
- Péndola de tubo de atirantado.
- Soporte de brazo de atirantado.
- Brazo de atirantado.
- Aislador de cuerpo de ménsula.
- Aislador de tirante de ménsula.
- Grapa de apoyo de sustentador.
- Rótula de giro de tirante.



- Rótula de tubo de giro de ménsula.
- Herrajes y rótulas.
- Tornillería.

Cada ménsula se fabrica por separado en función de los parámetros geométricos y de esfuerzos que exige cada perfil en particular, aunque el diseño de este tipo de ménsulas permite un ajuste final de altura y descentramiento una vez montada sin necesidad de mecanizado adicional.

En el caso de pórticos rígidos, se ha proyectado la instalación de soportes de ménsula que irán fijados al dintel del pórtico.

8.4.5. EQUIPOS DE COMPENSACIÓN

La catenaria a instalar esta compensada mecánicamente de forma automática de modo que se mantenga la tensión mecánica de los conductores ante un cambio de las condiciones medioambientales, principalmente la temperatura.

Esta compensación automática se consigue mediante equipos de poleas y contrapesos.

8.4.6. AGUJAS

Las agujas aéreas son todas del tipo tangencial en el punto 90 (P-90) para desvío con velocidades de paso inferiores a 160 km/h.

En el caso de los escapes entre vías generales o vías pertenecientes a distinto subsector eléctrico, se dispondrá para el aislamiento del correspondiente aislador de sección.

Para desvíos con velocidades iguales o superiores a 160 km/h, los escapes entre vías generales se realizan mediante seccionamientos aislados evitando el uso de aisladores de sección. Para este fin se dispone en cada aguja aérea de catenaria auxiliar.

Los desvíos del tipo 220 km/h se electrifican mediante catenaria auxiliar y seccionamiento con lámina de aire de separación en el caso de las catenarias de los desvíos.

Los cruzamientos y travesías en estaciones se realizan cruzando los hilos de contacto mediante los elementos de guiado correspondientes.

Todas las agujas se dotan de las conexiones eléctricas necesarias.

8.4.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONDUCTORES

8.4.7.1. Sustentador

- Designación: Cu 100
- Sección: 95 mm²



- Diámetro: 12,95 mm
- Material: Cobre electrolítico
- Carga de rotura: 38,82 kN
- Tensión de trabajo: 15,75 kN
- Coeficiente de seguridad: 2,46
- Peso por metro: 0,890 kg/m
- Corriente permanente a 80°C: 400 A

8.4.7.2. Hilo de contacto

- Designación: RIM 150 según EN 50149 [**UNE-EN-50149, 2007**]
- Sección: 150 mm²
- Diámetro: 14,5 mm
- Material: Cu-Mg 0,6
- Carga de rotura: 75,7 kN
- Tensión de trabajo: 31,50 kN
- Coeficiente de seguridad: 2,40
- Peso por metro: 1,335 kg/m
- Corriente permanente a 80°C: 427 A
- Conductividad: 1,6e-4 Ohmios/m
- Dureza Rockwell: 74

8.4.7.3. Falso sustentador

En los apoyos se dispone de péndola en Y de bronce (Bz II) de 35 mm² de sección, también llamado falso sustentador.

- Designación: Bz 35 según DIN 48201
- Sección: 35 mm²
- Diámetro: 7,5 mm
- Material: Bz II
- Carga de rotura: 20,17 kN



- Tensión de trabajo: 3,15 kN
- Coeficiente de seguridad: 6,40
- Peso por metro: 0,310 kg/m
- Corriente permanente a 80°C: 160 A

8.4.7.4. Cable de péndolas de bronce de 16 mm²

- Designación: Bz-16
- Sección: 16 mm²
- Diámetro: 5,1 mm
- Material: BZ-II
- Carga de rotura: 9,33 kN
- Peso por metro: 0,143 kg/m
- Corriente permanente a 80°C: 100 A

8.4.7.5. Cable LA-110 (Cable de retorno)

- Designación: LA-110 [UNE-EN-50149, 2007]
- Sección de aluminio: 94,2 mm²
- Sección de acero: 22 mm²
- Sección total: 116,2 mm²
- Diámetro: 14 mm
- Carga de rotura: 440 kN
- Peso por metro: 0,432 kg/m
- Resistencia eléctrica: 0,307 Ohmios/km
- Módulo elástico: 8200 kg/mm²
- Coeficiente de dilatación: 17,8e-6
- Corriente permanente a 80° C: 303 A

8.4.7.6. Cable LA-180 (Cable de retorno o *feeder* de aumento de sección)

- Designación: LA-180 según UNE [UNE-EN-50149, 2007]
- Sección de aluminio: 147,3 mm²



- Sección de acero: $34,3 \text{ mm}^2$
- Sección total: $181,6 \text{ mm}^2$
- Diámetro: 17,5 mm
- Carga de rotura: 651 kN
- Peso por metro: 0,676 kg/m
- Resistencia eléctrica: 0,196 Ohmios/km
- Módulo elástico: 8200 kg/mm^2
- Coeficiente de dilatación: $17,8 \times 10^{-6}$
- Corriente permanente a 80°C : 426 A

8.4.7.7. Cable LA-280 (*Feeder* negativo o de aumento de sección)

- Designación: LA-280 según UNE [UNE-EN-50149, 2007]
- Sección de aluminio: $241,7 \text{ mm}^2$
- Sección de acero: $39,4 \text{ mm}^2$
- Sección total: $281,1 \text{ mm}^2$
- Diámetro: 21,8 mm
- Carga de rotura: 842 kN
- Peso por metro: 0,976 kg./m
- Resistencia eléctrica: 0,119 Ohmios/km
- Módulo elástico: 7700 kg/mm^2
- Coeficiente de dilatación $18,9 \times 10^{-6}$
- Corriente permanente a 80°C : 575 A

8.4.7.8. Cable LA-380 (*Feeder* negativo)

- Designación: LA-380 según UNE [UNE-EN-50149, 2007]
- Sección de aluminio: $337,3 \text{ mm}^2$
- Sección de acero: $43,7 \text{ mm}^2$
- Sección total: $381,0 \text{ mm}^2$
- Diámetro: 25,38 mm



- Carga de rotura: 1065 kN
- Peso por metro: 1.275 kg./m
- Resistencia eléctrica: 0.0857 Ohmios/km
- Módulo elástico: 7000 kg/mm²
- Coeficiente de dilatación 19.3e-6
- Corriente permanente a 80°C: 712 A

8.4.8. SECCIONADORES DE CATENARIA

Los seccionadores de catenaria pueden ser unipolares, en algunos casos o bien bipolares:

Se emplean unipolares:

- En la alimentación de zonas neutras
- En el puenteo de aisladores de sección en vías secundarias
- En el aislamiento de los transformadores de alimentación a servicios auxiliares, en todos los casos.

Se emplean bipolares:

- En el puente de seccionamientos de aire de 2x25.
- En la puesta en paralelo de vías en 2x25.
- En la alimentación a las vías desde la Subestación o desde el puesto de autotransformadores, con apertura en vacío, al ir situados detrás de un disyuntor, se coloca en pórticos de subestaciones, zonas neutras y autotransformadores.

Todos los seccionadores citados son de apertura en vacío, con la excepción de los instalados en el puente de seccionamientos de aire de 2x25 en PB, PAET y estaciones, que son de apertura en carga para posibilitar las maniobras sin necesidad de cortar la alimentación de las vías.

Los seccionadores de apertura en carga son de intensidad de corte de 2000 A. para lo que van equipados de una cámara de ruptura apropiada.

Los seccionadores de apertura en vacío son de corriente nominal 1.700 A, para catenaria y de la corriente adecuada en el aislamiento de transformadores de alimentación.

8.4.9. AISLADORES

Se emplean aisladores de porcelana en las ménsulas y en aquellos puntos en que los *feeders* van apoyados. También se utilizan en los tirantes de ménsula cuando pueden estar sometidos a cargas de compresión.



Para aisladores sometidos a tracción, *feeders* suspendidos o en los aisladores de anclaje que soportan el tiro de la línea, se emplean aisladores de vidrio tipo antivandálico de tamaño E-70 para tirantes de ménsula, suspensiones y anclajes de sustentador o *feeders* y E-100 para anclaje de hilo de contacto.

La longitud de línea de fuga aconsejada para líneas de 25 kV nominales entre fase y tierra, que suponen una tensión máxima no permanente de 29.000 V [UNE-EN-50163, 2006], es la siguiente, según la polución de las zonas atravesadas:

- Polución ligera: 803 mm.
- Polución media: 1004 mm.
- Polución fuerte: 1255 mm.
- Polución muy fuerte: 1557 mm.

En la mayor parte de la línea, se empleará el aislador correspondiente a polución ligera, es decir aislador de porcelana tipo 1 y tres aisladores E-70 de vidrio.

Se emplearán aisladores correspondientes a poluciones más graves en aquellas zonas definidas así en el Proyecto de Norma 50119 [UNE-EN-50119, 2002] en su anexo A.

8.4.10. AUTOVÁLVULAS

Si bien en la salida de las Subestaciones debe haber autoválvulas que protejan el aparellaje y los transformadores de las sobretensiones de origen atmosférico, esta protección no siempre es suficiente, particularmente en los puntos en que variaciones bruscas de impedancia o la existencia de zonas aisladas (caso de las Zonas Neutras) pueden originar sobretensiones puntuales que podrían dañar la instalación.

Por consiguiente se instalaN autoválvulas de óxidos metálicos, para una tensión de funcionamiento de 36 kV, en los siguientes puntos del tramo que nos ocupa:

- Catenarias auxiliares de las zonas neutras.
- Puntos de puesta en paralelo de ambas vías.
- Puntos de conexión de transformadores de Alimentación a Instalaciones Complementarias.
- Vías de estación que puedan quedar aisladas en algún momento al abrir los seccionadores.
- En los casos en que coincidan dos de los supuestos anteriores, se utilizará la protección una sola vez, aunque en todos los casos se monta una autoválvula para cada vía aunque teóricamente funcionen siempre en paralelo.

8.4.11. RETORNO DE TRACCIÓN Y PROTECCIONES

En el sistema de tracción en corriente alterna, el retorno se realiza a través de los carriles y los conductores de retorno en su mayor parte y en menor medida por tierra.



En el sistema de catenaria proyectado, se incluye un conductor de retorno de tracción que une todos los postes y herrajes del sistema de catenaria y que periódicamente esta conectado a los carriles de referencia de tracción o retorno.

Los conductores del sistema de retorno de tracción están conectados a tierra mediante las picas de puesta a tierra dispuestas en cada poste de catenaria.

Al tener cada cimentación una puesta a tierra mediante pica se obtiene un buen contacto del sistema de retorno con tierra, si bien el instalador debe realizar las pruebas necesarias y poner los medios necesarios en su caso para la mejora de la tensión de paso y contacto.

El cable de retorno se une a cada poste a través de la grapa de suspensión correspondiente. En el caso de presencia de elementos que exijan alejar el cable de retorno de la alineación de los postes, se dispone de mensulillas o alargaderas a tal fin.

Todos los elementos que se encuentren dentro de la zona de catenaria y pantógrafo expresada en la norma deben estar conectados al sistema de puesta a tierra.

Los pasos superiores deben tener las protecciones correspondientes mediante obstáculos o viseras que se expresan en la norma. **[UNE-EN-50124, 2003]**



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

9. CÁLCULO MECÁNICO

CAPÍTULO 9

MÉTODO SEGUIDO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LA LÍNEA AÉREA DE CONTACTO



9. MÉTODO SEGUIDO PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE LA LÍNEA AÉREA DE CONTACTO

A continuación se describe el procedimiento de cálculo que se va a llevar a cabo para dimensionar mecánicamente la catenaria.

Partiendo de las especificaciones técnicas de diseño (Capítulo 7) y de la descripción de la catenaria adoptada (Capítulo 8), el procedimiento de cálculo mecánico seguido en el presente proyecto es el siguiente:

1. Determinación de los vanos a emplear en recta y en curvas de distintos radios, de modo que con las presiones de viento tabuladas, no haya deformaciones del hilo de contacto tales que pueda quedar fuera de la zona barrida por el pantógrafo y de acuerdo con las normas. (Se describe en el capítulo 10)
2. Determinación de las tensiones de los cables de la catenaria, compensados y no compensados, para posteriormente calcular los esfuerzos a los que están sometidos los cables. (Se describe en el capítulo 11)
3. Determinación de los esfuerzos que se transmiten a los postes en cada tipo de utilización. Se calcula el momento de vuelco total generado sobre la base del poste para las situaciones más desfavorables de funcionamiento. (Se describe en el capítulo 12)
4. Tras el diseño de los tipos de poste a emplear, se determina la resistencia de los postes. En España se utilizan, para alta velocidad, postes metálicos formados por dos perfiles UPN. Se dimensionan las secciones de los perfiles para determinar el momento admisible del poste. (Se describe en el capítulo 13)
5. Asignación del tipo de poste más adecuado de acuerdo con los cálculos realizados en los pasos número 3 y 4. (Se describe en el capítulo 14)
6. Determinación de la cimentación a emplear para cada tipo de poste. En alta velocidad estas cimentaciones son de forma cilíndrica, variando el diámetro y la altura de la cimentación en función del tipo de poste y, por tanto, del momento de vuelco a soportar. (Se describe en el capítulo 15)
7. Una vez diseñados los elementos de sustentación de la catenaria, se replantea sobre el plano la instalación, obteniendo el cuaderno de trabajo. (Se describe en el capítulo 16)



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

10. VANO Y ATIRANTADO

CAPÍTULO 10

VANO Y ATIRANTADO

10 VANO Y ATIRANTADO

Las características mecánicas de una instalación de catenaria de elevadas prestaciones tienen como objeto obtener un funcionamiento homogéneo de la instalación, asegurando una correcta captación de corriente por el pantógrafo a la velocidad de circulación de los trenes. Para ello se deben evitar los cambios bruscos en el movimiento de las masas que conforman la instalación y la concentración puntual de masas. Se debe prestar especial atención a la geometría de la catenaria, controlando que los paramentos geométricos, incrementos de longitud por aumento de temperatura de los cables, desplazamientos de ménsulas, compensaciones, flechas, etc., se desplacen dentro de los márgenes permitidos.

10.1 VANO

Se entiende como vano: la distancia que existe entre dos postes contiguos que soportan a la línea aérea de contacto (*Figura 10.1*).

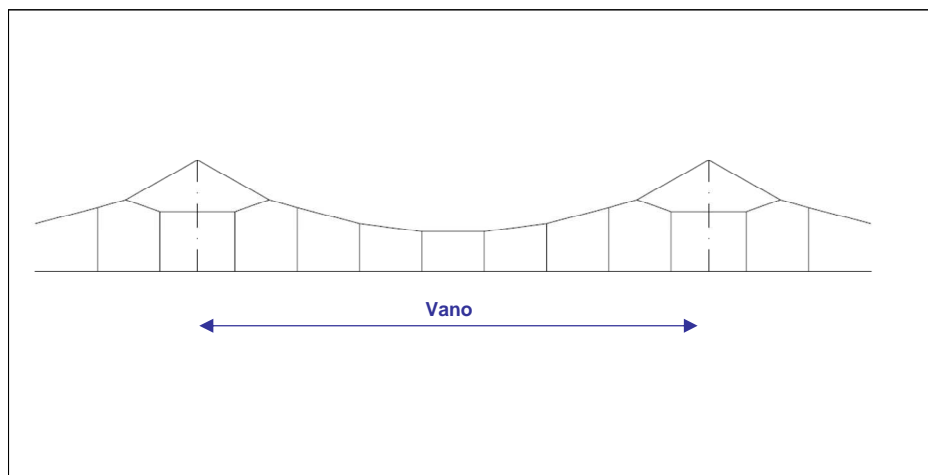


Figura 10.1. Vano

Como la catenaria está descentrada alternativamente 20 cm (*Figura 5.6*), a ambos lados del eje de la vía, es necesario buscar una relación entre la longitud del vano y el descentramiento de los hilos de contacto, con respecto al centro del pantógrafo y obtener el valor máximo de este descentramiento a fin de asegurar que en ningún caso los hilos de contacto queden fuera de la zona de frotamiento del pantógrafo. A esta relación se ha de añadir la acción que el viento lateral puede ejercer sobre la línea aérea de contacto, desviándola de su posición inicial.

La zona de frotamiento de los hilos de contacto sobre el pantógrafo no debe exceder de la longitud máxima del semipantógrafo, pudiéndose aceptar como extrema, para cualquier situación, la situada a 60 cm respecto del eje.

Para el cálculo del vano se considera la proyección de la catenaria sobre el plano horizontal, sometida a una tensión mecánica igual a la suma de las tensiones de los hilos de contacto más la correspondiente al

sustentador, estando además expuesta a la acción de un posible viento transversal, pudiéndose dar dos situaciones diferentes:

- Vano situado en recta y con descentramiento.
- Vano situado en curva y con descentramiento.

Para el cálculo del vano en estas dos situaciones posibles se calcula previamente un caso ideal de vano situado en recta y sin descentramiento, que permita comprender mejor los conceptos que van a entrar en juego.

10.1.1 VANO IDEAL EN RECTA Y SIN DESCENTRAMIENTO.

Como se puede observar en la figura 10.2, en este caso ideal, por efecto del viento, la catenaria toma una posición de equilibrio con desviación d , en el centro del vano. En dicha figura se puede apreciar la fuerza del viento a lo largo del cable.

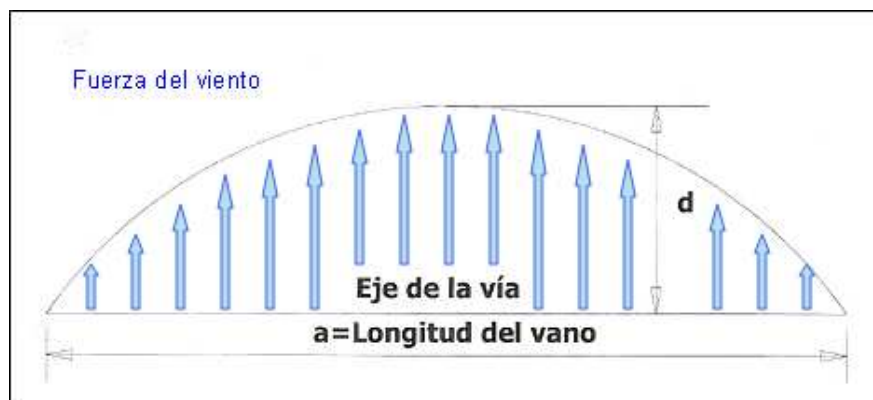


Figura 10.2. Posición de equilibrio en la catenaria por efecto del viento en el caso ideal

Para simplificar los cálculos, se considera que la resultante de la fuerza del viento se aplica en el centro del vano y que, por lo tanto, la catenaria en lugar de tener forma parabólica tiene forma triangular, tal y como se puede apreciar en la figura 10.3.

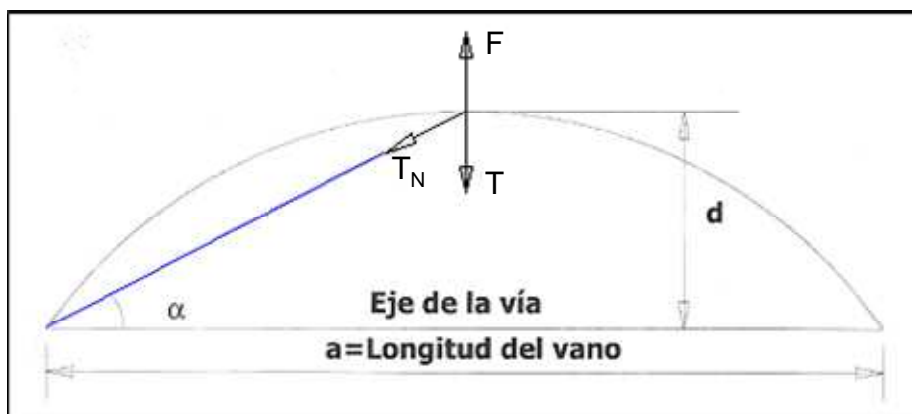


Figura 10.3. Esquema simplificado de las fuerzas actuantes en la catenaria en el caso ideal



De este modo la resultante de la tensión radial del cable se aplica en el centro del vano y es de la forma:

$$T = 2 \cdot T_N \cdot \operatorname{sen} \alpha \quad (\text{Ec. 10.1})$$

Por lo tanto, la ecuación de equilibrio será:

$$T = F \quad (\text{Ec. 10.2})$$

Donde:

T = Resultante de la tensión del cable en el centro del vano. [kgf]

F = Resultante de la Fuerza del viento en el centro del vano. [kgf]

La fuerza del viento se puede obtener mediante la expresión:

$$F = \frac{V \cdot a}{2} \quad (\text{Ec. 10.3})$$

Donde:

V , es la fuerza del viento por unidad de longitud de cable, del conjunto de cables que integran la catenaria. [kgf/m]

a , es la longitud del vano. [m]

Despejando en la ecuación [Ec. 10.1]:

$$\operatorname{sen} \alpha \cong \operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{\frac{a}{2}} \Rightarrow T = 2 \cdot T_N \cdot \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{4 \cdot T_N \cdot d}{a} \quad (\text{Ec. 10.4})$$

Igualando según la ecuación [Ec. 10.2], se obtiene:

$$\frac{V \cdot a}{2} = \frac{4 \cdot T_N \cdot d}{a} \Rightarrow a = \sqrt{\frac{8 \cdot T_N \cdot d}{V}} \quad (\text{Ec. 10.5})$$

Según la longitud del semieje del pantógrafo y del grado de margen de seguridad, se adoptará un valor d_{\max} de descentramiento máximo de la catenaria en [m], resultando ser la longitud máxima del vano, a , la siguiente:

$$a \leq \sqrt{\frac{8 \cdot T_N \cdot d_{\max}}{V}} \quad (\text{Ec. 10.6})$$

Donde d_{\max} debe ser siempre menor que la longitud del semipantógrafo.

10.1.2 VANO EN RECTA Y CON DESCENTRAMIENTO.

En condiciones normales, el hilo de contacto se desplaza en forma de zig-zag (*Figura 5.6*) a cada lado del eje de la vía. Como se ha dicho anteriormente, por efecto del viento se tiene a mitad del vano una desviación o descentramiento, d , que será perpendicular en su punto medio a la línea que une los dos brazos de atirantado. Sin embargo la desviación o descentramiento en este caso, D , se obtendrá en la perpendicular de la vía, ya que recoge conjuntamente el efecto que el descentramiento y el viento producen sobre la catenaria, con respecto al eje de la vía.

En la figura 10.4 se representa la acción del viento sobre un vano de catenaria, donde el descentramiento en los apoyos se indica mediante el valor b , siendo a la longitud del vano. Por la acción del viento, los hilos de contacto en lugar de mantenerse en línea recta forman un arco de circunferencia entre los dos puntos de atirantado, siendo R el radio de la curva que se genera.

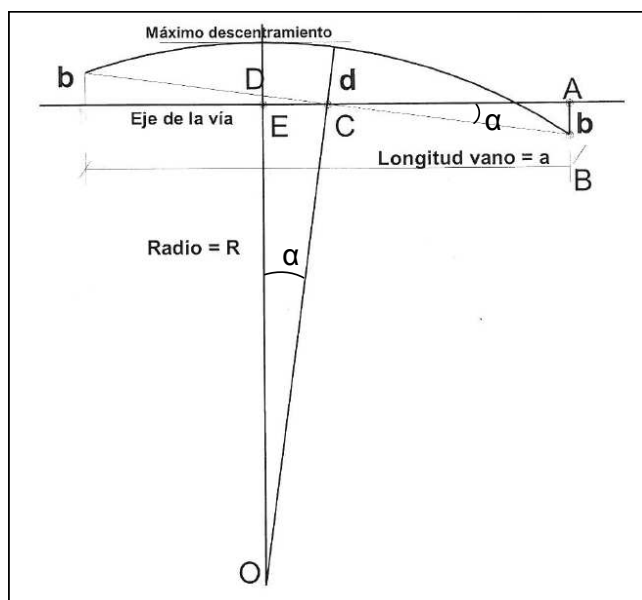


Figura 10.4. Esquema Vano en recta y con descentramiento

En el triángulo ABC se tiene que:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a/2} \quad (\text{Ec. 10.7})$$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \quad (\text{Ec. 10.8})$$

Según la figura 10.4, D es de la forma:

$$D = R - (R - d) \cdot \cos \alpha = R - (R - d) \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \quad (\text{Ec. 10.9})$$

$$D = R - (R - d) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{b^2}{a^2/4}\right)}} = R - (R - d) \cdot \sqrt{\frac{a^2}{a^2 + 4 \cdot b^2}} \quad (\text{Ec. 10.10})$$

Donde:

- D = Desviación o Descentramiento máximo de la catenaria con respecto de la vía [m].
- R = Radio de la curva generada en la catenaria por efecto del viento,
- d = Desviación o Descentramiento máximo de la catenaria en el centro del vano con respecto de la catenaria [m].
- a = Longitud del vano [m]
- b = Descentramiento en los apoyos con respecto de la vía [m].

10.1.3 VANO EN CURVA Y CON DESCENTRAMIENTO.

Como ya se comentó en el capítulo 5, en las curvas se atiranta siempre hacia fuera de la curva. De este modo ya se tiene, además del descentramiento producido por el viento, el descentramiento producido por el atirantado.

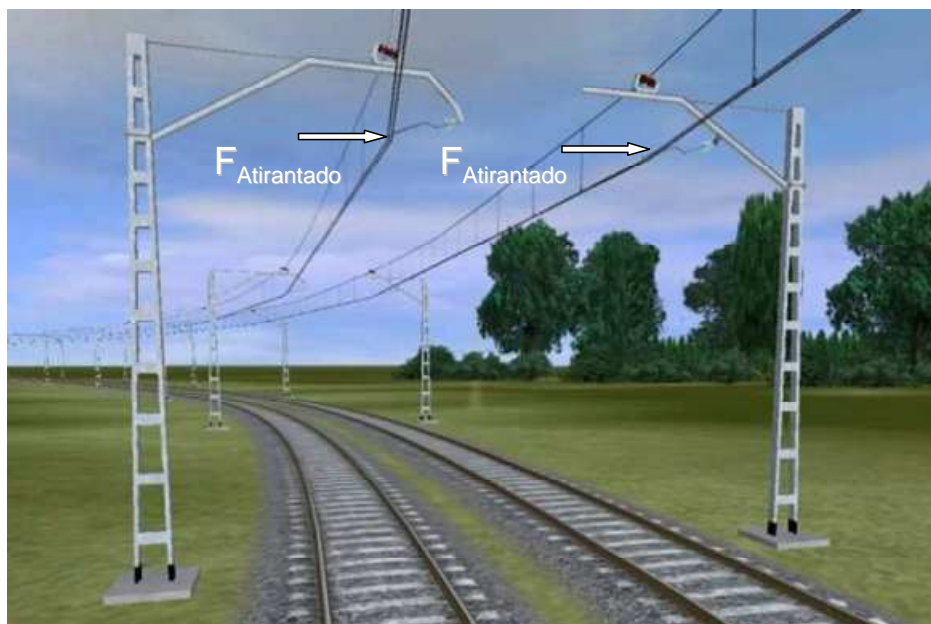


Figura 10.5. Atirantado en curva

Considerando las hipótesis más desfavorables, es decir, vía en curva y viento transversal soplando hacia el interior de la curva se tiene, partiendo de la ecuación (Ec. 10.5), que la desviación, d , producida en el hilo de contacto por efecto del viento es la definida por la ecuación:

$$d = \frac{a^2 \cdot V}{8 \cdot T} \quad (\text{Ec. 10.11})$$

Por otra parte, el descentramiento d' debido a la curva de la vía, tiene la expresión:

$$d' = \frac{a^2}{8 \cdot R} \quad (\text{Ec. 10.12})$$

Siendo R el radio de la curva

En la figura 10.3 se aprecia la condición exigida por la cual el pantógrafo no debe exceder de la longitud máxima del semipantógrafo tiene la forma: $d + d' \leq d_{\max}$. Como en los apoyos se descentra el hilo de contacto hacia fuera de las curvas, en un valor b , la condición anterior se convierte en:

$$d + d' - b \leq d_{\max} \quad (\text{Ec. 10.13})$$

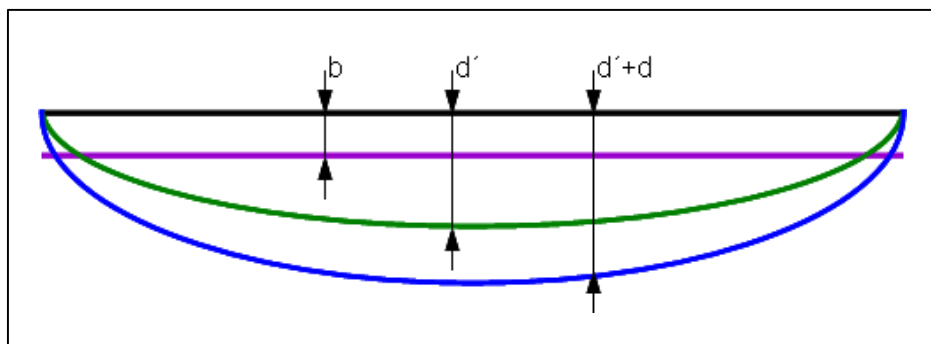


Figura 10.6. Esquema Vano en curva y con descentramiento

Sustituyendo los valores de d y d' en la ecuación (Ec. 10.13), se obtiene:

$$\frac{a^2 \cdot V}{8 \cdot T} + \frac{a^2}{8 \cdot R} - b \leq d_{\max} \quad (\text{Ec. 10.14}) \Rightarrow a \leq \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot (d_{\max} + b) \cdot T}{(V \cdot R) + T}} \quad (\text{Ec. 10.15})$$

10.1.4 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE VANOS Y DESCENTRAMIENTOS.

En base a la ecuación (Ec. 10.15) y con los datos de partida de la Tabla 10.1 se obtienen los valores de los vanos necesarios en función de los radios de las curvas del trazado, reflejados en la Tabla 10.2:

Tabla 10.1 Datos de partida

Datos de partida:	
$d_{\max} =$	0,12 m
$b =$	0,20 m
$T(\text{hilo+sust}) =$	4725 kgf
$V(\text{hilo+sust}) =$	1,96 kgf/m

La tensión del hilo de contacto más la tensión del sustentador se representa mediante T y está expresada en kg fuerza.

Tabla 10.2. Radio de la curva – Vano máximo

RADIO DE LA CURVA [m]	VANO MÁXIMO [m]
>10.000	64
10000<R<7250	64
7250<R<5000	64
5000	64
4000	62
3000	58
2000	52
1500	48
1200	45
1000	42
900	41
800	39

Para los tramos en recta, el vano máximo permitido se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 10.10), pero al ser más restrictivo, se asemejan los tramos en recta a tramos en curva con radios muy amplios ($R > 5000$ m), siendo, por tanto, el valor del vano en recta de $a = 64$ m.

En la Figura 10.4 se representan gráficamente los datos obtenidos:

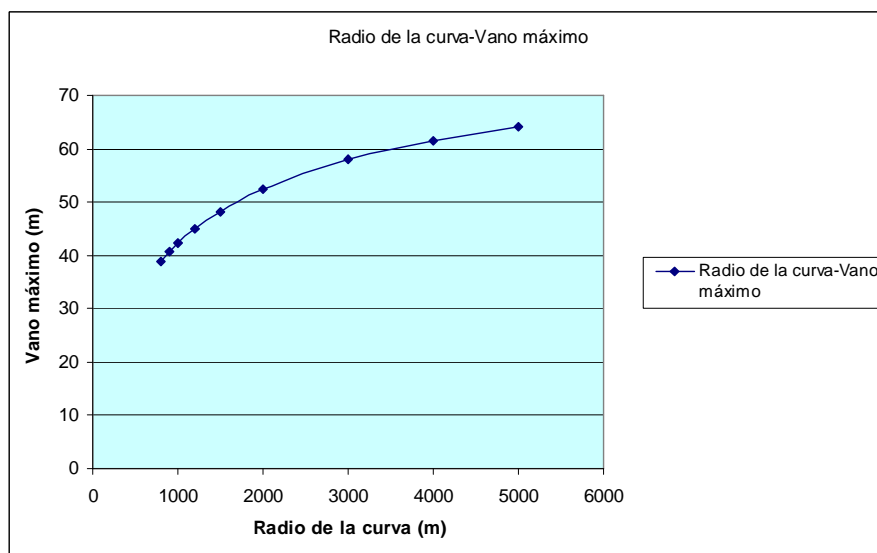


Figura 10.7. Gráfica Radio de la Curva – Vano Máximo

Como puede observarse, se ha adoptado un vano máximo de 64 m, inferior al recomendado (65 m) en la ficha SC 57H3 de la UIC [UIC 799 OR, 2000].

Según los proyectos de vía consultados para el tramo Olmedo-Zamora, todos los subtramos se han diseñado para velocidades de 350 km/h, por lo que los radios de curva son iguales o superiores a 7250 m. Tan sólo existen tres excepciones en el trazado:



- Primera curva del trazado, a la salida de Olmedo, de 5000 m de radio
- En la conexión de la estación de Medina del Campo con en el intercambiador de anchos de la Línea Medina del Campo – Salamanca, con radios de 1450 m en la vía 3 y 2235 m en la vía 4.
- Curva de acceso a Zamora, con un radio de 1200 m (con limitación de velocidad)

Con motivo de simplificar cálculos y parámetros geométricos, se distinguirán dentro del proyecto tres configuraciones posibles de trazado:

- Tramo en recta
- Tramo en curva de 5000 m
- Tramo en curva de 1200 m

Los tramos en curva de 1450 m y de 2235 m de radio que se encuentran en la conexión de la estación de Medina del Campo con el intercambiador de anchos se diseñaran como tramos en curva de 1200 m, siendo esta configuración de diseño más restrictiva.

Para escoger los valores máximos de descentramiento se tiene en cuenta la norma **[UNE-EN-50119:2002]**, que recomienda no superar descentramientos de 400 mm. Deben tenerse en cuenta asimismo los valores de esfuerzos de viento a diversas alturas expuestos en la **[UNE-EN-50125:2004]**. De ésta forma:

- En recta y curvas hasta 7250 m de radio: ± 20 cm
- Curva $1200 \text{ m} \leq R \leq 5000 \text{ m}$: +20/+20 cm para el caso de poste en el interior de la curva y -20/-20 cm para el caso de poste en el exterior de la curva.

El cálculo del esfuerzo del viento sobre los conductores se lleva a cabo de dos formas paralelas. La primera de ellas considera el coeficiente de resistencia C_D experimental en función del número de Reynolds, mientras que en la segunda se aplican los esfuerzos por metro lineal sobre los conductores tabulados. Ambos valores pueden consultarse en la Tabla 10.3. Como puede observarse, son más restrictivos los valores tabulados, por lo que son éstos últimos los que se aplican en el cálculo de los descentramientos. Así, el número de Reynolds se ha calculado como:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (\text{Ec. 10.16})$$

Donde:

ρ = Densidad del aire = $1,2 \text{ kg/m}^3$

μ = Viscosidad del aire = $15,6 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$

V = Velocidad del aire = $120 \text{ km/h} = 33,33 \text{ m/s}$

D = Diámetro de los cables [m]

Tabla 10.3. Resistencia del viento sobre el hilo de contacto y el sustentador

	Sustentador a 1.4m del H.C.	Hilo de Contacto(H.C.)
	Cu 100 mm ²	Cu 150 mm ²
Diámetro (mm)	12,95	14,50
Nº de Reynolds	33.202	37.176
C _D	1.1	1.1
Resistencia teórica (kg/m)	0.81	0.90
Resistencia tabulada (kg/m)	0.90	1.06

Los valores de resistencia al viento se usan para calcular el desplazamiento (descentramientos) de los conductores tanto en recta como en curva. Mientras que en recta la flecha máxima que se genera viene únicamente provocada por el viento, teniendo tan solo una componente (la del viento), la flecha en curva tiene dos componentes, la provocada por el viento (d) y la poligonal inscrita en la curva (d').

Como resumen, se presentan las siguientes tablas (Tabla 10.4 a 10.6) que muestran la relación entre el vano máximo (a), el radio de la curva (R), el descentramiento en los apoyos (b) y la desviación o descentramiento máxima en el centro del cantón (d) para recta y curvas de hasta 7250 m, así como la flecha máxima para los casos particulares de curva de 5000 m y 1200 m.

Para el cálculo de la flecha provocada por el viento se utiliza la ecuación (Ec. 10.11), despejando d , mientras que la flecha poligonal en curva se extrae de la ecuación (Ec. 10.12), despejando d' .

Tabla 10.4. Flecha máxima en recta

Recta y curvas hasta 7250 m	
Vano, a , (m)	64
Descentramiento en los apoyos, b , (cm)	±20
Flecha viento, d , (m)	0,21

Tabla 10.5. Flecha máxima en curva de $R = 5000$ m

Curva de 5000 m	
Vano, a , (m)	64
Descentramiento en los apoyos, b , (cm)	+20/+20



Curva de 5000 m	
Flecha poligonal, d' , (m)	0,10
Flecha viento, d , (m)	0,21
Flecha máxima, $d+d'$, (m)	0,31

Tabla 10.6. Flecha máxima en curva de $R = 1200$ m

Curva de 1200 m	
Vano, a , (m)	45
Descentramiento en los apoyos, b , (cm)	+20/+20
Flecha poligonal, d' , (m)	0,21
Flecha viento, d , (m)	0,10
Flecha máxima, $d+d'$, (m)	0,32

En la tabla 10.7 se puede comprobar como el valor del descentramiento máximo permitido es:

$$d_{max} = d+d'-b = 0,12 \text{ m}$$

10.2 ESFUERZOS EN LOS BRAZOS DE ATIRANTADO

Si se mantuvieran los hilos de contacto siempre en la misma posición respecto al eje de la vía, el frotamiento de estos sobre el pantógrafo produciría un calentamiento en la zona de contacto y al mismo tiempo un desgaste extremadamente rápido de las pletinas de frotamiento, llegando inclusive a cortarlas.

Para evitar estos efectos, los hilos se montan formando una línea poligonal de tal forma que el punto de contacto se vaya desplazando a ambos lados del centro del pantógrafo conforme al tren se vaya desplazando a lo largo de la vía, tal y como se refleja en la figura 5.6.

Se crea de esta forma un barrido de los hilos de contacto sobre la pletina de frotación, que permite el enfriamiento de esta y al mismo tiempo una mayor duración al desgastarse de modo uniforme toda la superficie.

A la distancia existente en cada poste desde el eje de la vía, hasta el punto donde se encuentran los hilos de contacto se denomina descentramiento, y al conjunto de piezas mecánicas que posibilitan este descentramiento se le denomina conjunto de atirantado.

En el caso de los tramos en curva, siempre se atiranta hacia fuera de la curva, tal y como se vio en la figura 10.5.

10.2.1 CÁLCULO ESFUERZO RADIAL SOBRE EL BRAZO DE ATIRANTADO EN RECTA

Cuando el eje de la vía está en línea recta, es necesario desplazar la catenaria respecto de dicho eje en cada apoyo una determinada distancia que se denomina descentramiento. El esfuerzo necesario para desplazar los hilos de contacto a dicha distancia del eje se denomina esfuerzo radial, que se transmite al brazo de atirantado y que depende de los siguientes parámetros:

- Descentramiento
- Longitud de vano
- Tensión mecánica de los hilos de contacto
- Numero de hilos de contacto

Si representamos gráficamente los dos vanos situados a ambos lados del apoyo del que se quiere estudiar el esfuerzo radial, se obtendrá el esquema representado en la figura 10.5:

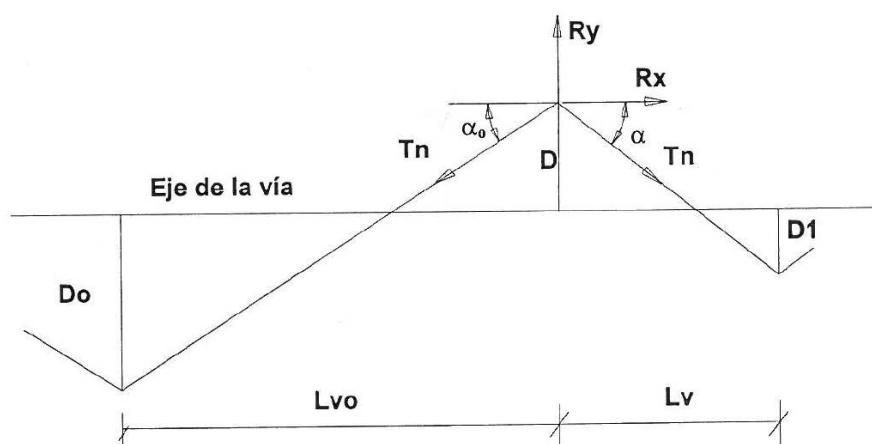


Figura 10.8. Esquema Fuerzas de Atirantado en recta

Donde:

- R_y = Componente del esfuerzo radial en el eje Y. Dirección de la ménsula o perpendicular a la vía [kgf]
- R_x = Componente horizontal del esfuerzo radial. Dirección de la vía.[kgf]
- L_{v0} = Longitud del vano anterior [m]
- D_0 = Descentramiento del apoyo objeto del estudio [m]
- L_v = Longitud del vano posterior. [m]
- D = Descentramiento del apoyo objeto del estudio [m]
- D_1 = Descentramiento del apoyo posterior [m]



- n = Numero de hilos
- T_n = Tensión mecánica de un hilo de contacto.[N]
- α_0 = Angulo anterior
- α = Angulo posterior

Tal y como se refleja en la figura 10.5 la componente R_y del esfuerzo radial será:

$$R_y = n \cdot T_n \cdot \text{sen} \alpha_0 + n \cdot T_n \cdot \text{sen} \alpha \quad (\text{Ec. 10.17})$$

Como:

$$\text{sen} \alpha_0 = (D + D_0) / L_{v_0} \quad (\text{Ec. 10.17})$$

$$\text{sen} \alpha = (D + D_1) / L_v \quad (\text{Ec. 10.18})$$

Sustituyendo:

$$R_y = n \cdot T_n \cdot \left(\frac{D + D_0}{L_{v_0}} + \frac{D + D_1}{L_v} \right) \quad (\text{Ec. 10.19})$$

La componente R_x del esfuerzo radial será:

$$R_x = n \cdot T_n \cdot \cos \alpha - n \cdot T_n \cdot \cos \alpha_0 \quad (\text{Ec. 10.20})$$

Siendo:

$$\cos \alpha_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{D + D_0}{L_{v_0}} \right)^2} \quad (\text{Ec. 10.21})$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{D + D_1}{L_v} \right)^2} \quad (\text{Ec. 10.22})$$

$$R_x = n \cdot T_n \cdot \left(\sqrt{1 - \left(\frac{D + D_1}{L_v} \right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{D + D_0}{L_{v_0}} \right)^2} \right) \quad (\text{Ec. 10.23})$$

Cuando las longitudes de los vanos colaterales son iguales, así como sus descentramientos, entonces la componente R_x se anula y la componente R_y , sustituyendo valores y simplificando, toma la siguiente expresión:

$$R_y = 4 \cdot n \cdot T_n \cdot \frac{D}{L_v} \quad (\text{Ec. 10.24})$$

10.2.2 ESFUERZO RADIAL SOBRE EL BRAZO DE ATIRANTADO EN CURVA

Cuando la vía se encuentra en curva, la catenaria forma una línea poligonal siguiendo la traza de la vía, tal y como se refleja en la figura 10.6. Esta línea poligonal con vértices en cada uno de los apoyos, forma por sí misma un descentramiento, que es comparativamente de mayor valor que el producido por el desplazamiento en zig-zag de la catenaria alrededor del eje de la vía. Este descentramiento real ha de tenerse en cuenta para el cálculo de la posición del brazo, esfuerzo radial y pendolado.

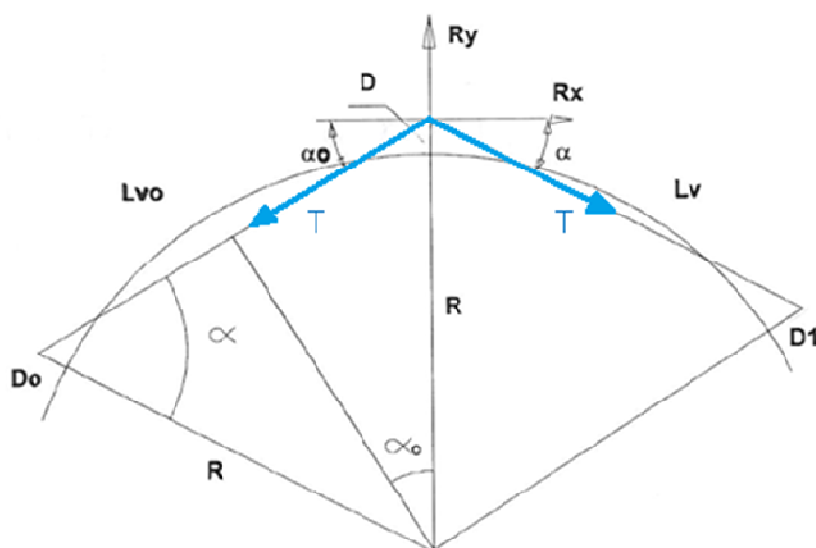


Figura 10.9. Esquema Fuerzas de Atirantado en curva

A partir de la figura 10.6, la componente R_y del esfuerzo radial será:

$$R_y = n \cdot T \cdot \text{sen} \alpha_0 + n \cdot T \cdot \text{sen} \alpha \quad (\text{Ec. 10.25})$$

Aplicando el teorema del coseno:

$$(R + D_0)^2 = L_{v_0}^2 + (R + D)^2 - 2 \cdot L_{v_0} \cdot (R + D) \cdot \cos(90^\circ - \alpha_0) \quad (\text{Ec. 10.26})$$

Como:

$$\text{sen} \alpha_0 = \cos(90^\circ - \alpha_0) \quad (\text{Ec. 10.27})$$

Entonces:

$$(R + D_0)^2 = L_{v_0}^2 + (R + D)^2 - 2 \cdot L_{v_0} \cdot (R + D) \cdot \text{sen} \alpha_0 \quad (\text{Ec. 10.28})$$

De donde:

$$\text{sen} \alpha_0 = \frac{L_{v_0}^2 + (R + D)^2 - (R + D_0)^2}{2 \cdot L_{v_0} \cdot (R + D)} \quad (\text{Ec. 10.29})$$



$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{Lv^2 + (R+D)^2 - (R+D_1)^2}{2 \cdot Lv \cdot (R+D)} \quad (\text{Ec. 10.30})$$

Sustituyendo valores:

$$Ry = n \cdot T \cdot \left(\frac{Lv_0^2 + (R+D)^2 - (R+D_0)^2}{2 \cdot Lv_0 \cdot (R+D)} + \frac{Lv^2 + (R+D)^2 - (R+D_1)^2}{2 \cdot Lv \cdot (R+D)} \right) \quad (\text{Ec. 10.31})$$

En este caso, como los vanos en los tramos en curva tienen todos la misma longitud, se tiene que:

$$D = D_0 = D_1$$

$$Lv_0 = Lv_1$$

Únicamente se tiene un hilo de contacto, por lo tanto, $n = 1$, y despejando en la ecuación (Ec.10.31) se obtiene:

$$Ry = T \cdot \frac{Lv_0}{(R+D)} \quad (\text{Ec. 10.32})$$

Por otro lado, la componente R_x es:

$$Rx = n \cdot T \cdot \cos \alpha - n \cdot T \cdot \cos \alpha_0 \quad (\text{Ec. 10.33})$$

Como:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \alpha} \\ \cos \alpha_0 &= \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 \alpha_0} \end{aligned} \quad (\text{Ec. 10.34})$$

Se obtiene que:

$$Rx = n \cdot T \cdot \left[\sqrt{1 - \left(\frac{Lv_0^2 + (R+D)^2 - (R+D_0)^2}{2 \cdot Lv_0 \cdot (R+D)} \right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{Lv^2 + (R+D)^2 - (R+D_1)^2}{2 \cdot Lv \cdot (R+D)} \right)^2} \right] \quad (\text{Ec. 10.35})$$

Igual que en el caso de R_y , despejando la ecuación (Ec. 10.35):

$$D = D_0 = D_1$$

$$Lv_0 = Lv_1$$

$$Rx = T \cdot \left[\sqrt{1 - \left(\frac{Lv_0}{2 \cdot (R+D)} \right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{Lv}{2 \cdot (R+D)} \right)^2} \right] = 0 \quad (\text{Ec. 10.36})$$



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

*11. FUERZAS GENERADAS EN LOS
CABLES*

CAPÍTULO 11

FUERZAS GENERADAS EN LOS CABLES



11 FUERZAS GENERADAS EN LOS CABLES.

En este apartado se estudian los esfuerzos a los que son sometidos los diferentes tipos de cables debido a las fuerzas que actúan sobre la catenaria. Estas fuerzas son, principalmente, el peso de los componentes de la línea aérea de contacto, la actuación del viento, las fuerzas de atirantado y el efecto de las fuerzas compensatorias sobre algunos cables.

Una vez calculados los esfuerzos en cada uno de los cables, se puede calcular, en función del tipo de poste, los momentos a los que está sometido dicho poste, siempre posicionándonos en la situación más desfavorable, que en este caso es el vuelco de la catenaria hacia dentro de la vía o, en zonas de postes compensados, hacia fuera de la vía.

Antes de calcular los esfuerzos a los que están sometidos los cables y los momentos que generan sobre la base de los postes, se calculan las tensiones ideales de montaje a las que tienen que estar sometidos los cables (compensados o no), en función de la configuración de la catenaria y de la temperatura, porque como ya se ha comentado, es muy importante tener en cuenta los efectos de las dilataciones térmicas sobre los componentes de la línea aérea de contacto.

11.1 TENSIONES MECÁNICAS EN LOS CABLES

Antes de conocer las tensiones ideales de montaje de los diferentes cables, se estudian en este apartado los conceptos de elasticidad y dilatación de los cuerpos, especialmente de los cables que intervienen en el montaje de los sistemas de líneas aéreas de contacto.

Conceptos como límites de elasticidad y ruptura, Ley de Hooke, histéresis elástica, elasticidad por tracción, dilatación de sólidos, ayudarán a comprender las causas por las que es conveniente la determinación de las tensiones máximas de tendido, coeficientes de seguridad, así como la división de la catenaria en secciones mecánicamente independientes, al objeto de poder controlar las variaciones de longitud, tensión mecánica y flecha en función de las condiciones climatológicas, y que además estas características mecánicas se mantengan a lo largo del tiempo dentro de los valores permitidos.

11.1.1 LÍMITES DE ELASTICIDAD Y RUPTURA. LEY DE HOOKE.

Cuerpos elásticos son los que modificados su volumen o forma recobran su modo de ser primitivo al cesar la causa que produjo el cambio. Cuerpos blandos son los que no recobran su volumen o forma primitivos al cesar la causa que los alteró.

Límite de elasticidad es la mínima fuerza por unidad de sección que es capaz de producir la ruptura del cuerpo.

La ley fundamental de la elasticidad es: *"Las deformaciones o cambios de volumen producidos en los cuerpos, son directamente proporcionales a las fuerzas productoras, siempre que no se rebase el límite de elasticidad"*.

11.1.2 HISTÉRESIS ELÁSTICA

Si se tensa un cable con esfuerzos gradualmente mayores, se producen en él alargamientos crecientes.

Si se representan en un gráfico las tensiones mecánicas y el tiempo, figura 11.1, se obtiene en principio una línea vertical, denominada alargamiento primario. En este tramo de la curva, para incrementos pequeños de tensión se producen alargamientos muy grandes en su longitud. Si se sigue aumentando la tensión mecánica aparece un segundo tramo denominado alargamiento secundario, en el que los incrementos de longitud no son tan elevados como en el primero. Si sigue aumentando aun más el tensado mecánico del cable se llega a una zona denominada alargamiento terciario, en el que pequeños aumentos de tensión producen grandes aumentos de longitud, al igual que como sucedía en la primera zona. Es en este punto donde si se continúa aumentando la tensión mecánica, se llega a un punto denominado rotura, en el cual el cable se rompe.

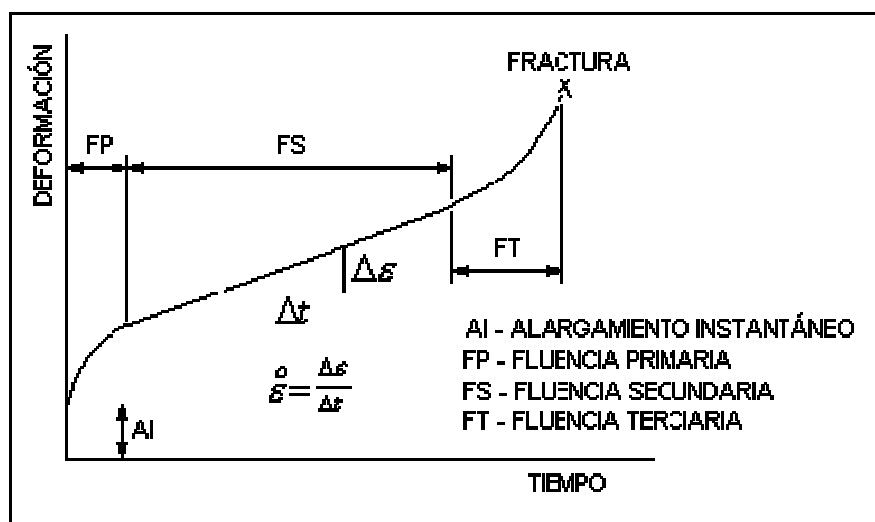


Figura 11.1. Gráfico Deformación - Tiempo

Si en vez de aumentar la tensión mecánica de forma gradual, se realiza de forma brusca, el alargamiento del cable no es inmediato, sino que alcanza valores finales al cabo de un tiempo determinado.

Si se van reduciendo los valores de tensión mecánica gradualmente la longitud del cable va disminuyendo de forma proporcional a la disminución de la tensión mecánica. Sin embargo, si esta disminución se realiza de forma brusca, queda en el cable un alargamiento remanente. Con el tiempo el cable va adquiriendo la longitud que corresponde a los valores representados en la gráfica.

Este fenómeno de retraso del efecto con relación a la causa se le denomina histéresis, y ha de ser considerado en la realización de los montajes de catenaria.

11.1.3 ELASTICIDAD POR TRACCIÓN.

Al fenómeno de la variación temporal de la longitud de un cuerpo, por efecto de una fuerza, se llama elasticidad por tracción. El aumento de longitud se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\Delta l = F \cdot \frac{l}{E \cdot S} \quad (\text{Ec. 11.1})$$

Siendo F la fuerza que produce la deformación, normalmente expresada en [N], l la longitud inicial del cuerpo expresada en [mm], S la sección en [mm²], constante y normal a la dirección de F , y el módulo de Young representado por E , una constante característica de cada cuerpo y expresada en [N/mm²].

El alargamiento relativo de longitud, $(\Delta l/l)$ o variación que corresponde a la unidad de longitud es:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{E \cdot S} = \frac{P}{E} \quad (\text{Ec. 11.2})$$

Siendo P la fuerza que actúa sobre la sección unitaria (N/mm²).

Naturalmente, al alargarse el cuerpo, éste sufre una contracción lateral que está relacionado con el alargamiento por la expresión:

$$\frac{\Delta d}{d} = -\nu \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{Ec. 11.3})$$

Siendo ν el llamado coeficiente de Poisson, carente de dimensiones. Para el cálculo mecánico de la catenaria no se tiene en cuenta dicha contracción lateral del cable.

11.1.4 DILATACIÓN LINEAL DE LOS SÓLIDOS

Al calentar un cuerpo este experimenta un incremento de sus dimensiones, se produce un aumento de la longitud que, aproximadamente, es proporcional a su longitud inicial y al incremento de temperatura $\Delta\theta$.

Si se consider l_1 y l_2 , las longitudes inicial y final, y α , la constante de proporcionalidad, se verifica que:

$$\text{➤ Variación de longitud: } \Delta l = \alpha \cdot l_1 \cdot \Delta\theta \quad (\text{Ec. 11.4})$$

$$\text{➤ Longitud final: } l_2 = l_1 + \Delta l = l_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \quad (\text{Ec. 11.5})$$

La constante α se denomina coeficiente de dilatación lineal y depende de la naturaleza del cuerpo, representando físicamente la variación de longitud por unidad de longitud y grado de temperatura. Algunos ejemplos de coeficientes de dilatación son los siguientes:

$$\text{➤ Acero: } 1,19 \times 10^{-5} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

$$\text{➤ Aluminio: } 2,35 \times 10^{-5} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

$$\text{➤ Cobre: } 1,69 \times 10^{-5} \left[\frac{m}{m \cdot ^\circ C} \right]$$



Este fenómeno de variación de longitud por efecto de las temperaturas es necesario tenerlo en consideración, ya que la temperatura de los cables que conforman la línea aérea de contacto varía como consecuencia de la variación de temperatura ambiente. Por otra parte, al circular por ellos una elevada cantidad de corriente eléctrica, se producen unas pérdidas de potencia en los cables por causa de la resistencia eléctrica, transformándose dichas pérdidas también en calor que elevan la temperatura de los mismos.

Teniendo en cuenta los dos efectos anteriores, cuando se proyecta una línea aérea de contacto se deben considerar las temperaturas máximas y mínimas de la zona, para determinar la temperatura de funcionamiento de la instalación. Considerándose la temperatura mínima de la zona como temperatura mínima en los conductores, y la temperatura máxima en los conductores como la suma de la temperatura máxima ambiental, incrementada en 15°C por efecto de radiaciones y en otros 15°C por efecto del calentamiento eléctrico, que sumados a los 50°C que se aceptan como máximo atmosférico, se obtendrán los 80°C máximos admisibles en el diseño de la línea aérea de contacto.

11.1.5 ECUACIÓN DEL CAMBIO DE CONDICIONES

En el diseño de la geometría de una catenaria, la distancia entre postes, tensiones mecánicas de los cables, flechas, esfuerzos radiales, altura de la catenaria, etc., así como la variación de estos valores con las diferentes condiciones atmosféricas y de funcionamiento, conforman los datos necesarios para la realización de su diseño y montaje.

La tensión mecánica soportada por un conductor, en unas determinadas condiciones, no se mantiene constante cuando las condiciones iniciales varían. La expresión que relaciona la tensión mecánica del conductor con la temperatura y las características mecánicas de los cables se denomina "Ecuación del cambio de condiciones".

Conviene especificar que esta ecuación se aplica especialmente a los conductores sin ningún tipo de compensación mecánica, como pudieran ser los *feeder* + y -, cables de tierra, y en general todos los cables sin equipo automático de compensación mecánica. No sería de aplicación a las catenarias compensadas, ya que el sistema de compensación tiene como objeto el mantener constante la tensión mecánica de la línea, aunque varíen las condiciones iniciales de montaje.

Se supone un conductor colocado en un vano de longitud V , y se denomina P_1 a la carga uniformemente repartida, por unidad de longitud, correspondiente a las condiciones fijadas en una cierta hipótesis inicial. A este valor de P_1 y a una determinada temperatura, corresponde un esfuerzo de tracción T_1 soportado por el conductor, la longitud del conductor en las condiciones indicadas sería:

$$l_1 = V + \frac{V^3 \cdot P_1^3}{24 \cdot T_1^2} \quad (\text{Ec. 11.6})$$

Si la temperatura y la carga del conductor cambian, también la tensión mecánica se modificará, y la nueva longitud del cable será:

$$l_2 = V + \frac{V^3 \cdot P_2^3}{24 \cdot T_2^2} \quad (\text{Ec. 11.7})$$

La diferencia de longitud viene determinada por el efecto de la dilatación del cable correspondiente a la diferencia de temperatura y al de elasticidad producido por la diferencia de tensiones $T_2 - T_1$.

Considerando que la longitud del cable difiere muy poco de la longitud del vano, la diferencia de longitud por efecto de la dilatación del cable viene dado por la expresión:

$$V \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{Ec. 11.8})$$

Llamando E al módulo de elasticidad del cable y S a la sección en mm^2 , el cambio de longitud originado por elasticidad estaría indicado por la expresión:

$$V \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{E \cdot S} \quad (\text{Ec. 11.9})$$

Luego, la variación de longitud por ambos efectos combinados es:

$$l_2 - l_1 = V \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + V \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{E \cdot S} \quad (\text{Ec. 11.10})$$

Esta expresión se corresponde con la variación total de longitud, por lo tanto:

$$\frac{V^3 \cdot P_2^3}{24 \cdot T_2^2} - \frac{V^3 \cdot P_1^3}{24 \cdot T_1^2} = V \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + V \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{E \cdot S} \quad (\text{Ec. 11.11})$$

Simplificando se obtiene:

$$\frac{V^2}{24} \left(\frac{P_2^3}{T_2^2} - \frac{P_1^3}{T_1^2} \right) = \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + (T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{E \cdot S} \quad (\text{Ec. 11.12})$$

La ecuación (Ec. 10.12) es una de las expresiones de la ecuación del cambio de condiciones, en la que:

- θ_1 : Temperatura inicial de tendido [$^{\circ}\text{C}$]. Se considera normalmente 15°C .
- θ_2 : Temperatura final de tendido. [$^{\circ}\text{C}$]
- T_1 : Tensión del vano en las condiciones iniciales [N/m^2]
- T_2 : Tensión del vano en las condiciones finales [N/m^2]
- α : Coeficiente de dilatación del cable $\left[\frac{\text{m}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right]$
- E : Módulo de elasticidad del cable [N/m^2]
- V : Longitud del vano [m]
- P_1 : Carga lineal del cable en [$\text{N/m}^2 \cdot \text{m}$] en las condiciones iniciales.
- P_2 : Carga lineal del cable en [$\text{N/m}^2 \cdot \text{m}$] en las condiciones finales.



11.1.6 DETERMINACIÓN TENSIONES ÓPTIMAS PARA CABLES DE CATENARIA SIN COMPENSAR

A la hora de calcular el valor máximo de la tensión mecánica de un conductor no compensado, los datos que inicialmente se conocen son:

- El vano
- Propiedades del cable
- Condiciones atmosféricas
- Coeficiente de Seguridad (normalmente 3)

Aplicando la ecuación de cambio de condiciones se obtiene el valor de la tensión que el cable puede alcanzar durante el tendido: T_2 .

Conocida la tensión máxima y el vano de tendido, la flecha máxima se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$y = \frac{p \cdot x^2}{2 \cdot T} \quad (\text{Ec. 11.13})$$

Donde:

- P : Esfuerzo vertical hacia abajo. Peso. [kgff]
- x : Mitad de la longitud del vano. $x=V/2$. [m]
- T : Tensión máxima. [kgff]

En la tabla 11.1 se muestran las características de los cables de aluminio-acero: LA-110 (cable de retorno), LA-380 (*feeder* negativo) y LA-280 (*feeder* positivo).

Tabla 11.1. Características de los cables no compensados

Cable	LA-110	LA-280	LA-380
Sección (mm ²)	116,20	281,10	381,00
Módulo E (kgf/mm ²)	8.200,00	7.700,00	7.000,00
Coeficiente de dilatación [m/m.°C]	1,78E-05	1,89E-05	1,93E-05
Diámetro (mm ²)	14,00	21,80	25,38
Peso (kgf/m)	0,43	0,98	1,28
Carga de rotura (kgf)	4.400,00	8.820,00	11.135,00
Resistencia óhmica (Ohmios/m)	0,307	0,122	0,087
Intensidad admisible (A)	290,00	575,00	714,00

En la tabla 11.2 se indican los valores de tensión, flecha y coeficiente de seguridad que se obtienen para cuatro hipótesis distintas.



Tabla 11.2. Valores de tensión, flecha y coeficiente de seguridad para cables no compensados

	Hipótesis 0	Hipótesis 1	Hipótesis 2	Hipótesis 3
	-20°, zona C, con viento de 120 km/h	-15°C, zona B, con viento de 120 km/h	0°C, con viento de 120Km/h, sin hielo	80°C, sin viento
LA-110				
Peso (kgf/m)	0,43	0,43	0,43	0,43
Carga del viento (kgf/m)	0,84	0,84	0,84	0,00
Carga por manguito de hielo (kgf/m)	0,67	0,34	0,00	0,00
Carga resultante (kgf/m)	1,95	1,61	1,27	0,43
Temperatura (°C)	-20,00	-15,00	0,00	80,00
Tensión (kgf)	1.100,00	955,94	814,25	179,95
Flecha (m)	0,515	0,414	0,594	1,232
CS	4,00	4,60	5,40	24,45
LA-280				
Peso (kgf/m)	0,98	0,98	0,98	0,98
Carga del viento (kgf/m)	1,09	1,09	1,09	0,00
Carga por manguito de hielo (kgf/m)	0,84	0,42	0,00	0,00
Carga resultante (kgf/m)	2,91	2,49	2,07	0,98
Temperatura (°C)	-20,00	-15,00	0,00	80,00
Tensión (kgf)	2.200,00	1.974,87	1.486,98	374,22
Flecha (m)	0,423	0,275	0,504	1,337
CS	4,01	4,47	5,93	23,57
LA-380				
Peso (kgf/m)	1,28	1,28	1,28	1,28
Carga del viento (kgf/m)	1,27	1,27	1,27	0,00
Carga por manguito de hielo (kgf/m)	0,91	0,45	0,00	0,00
Carga resultante (kgf/m)	3,46	3,00	2,55	1,28
Temperatura (°C)	-20,00	-15,00	0,00	80,00
Tensión (kgf)	2.700,00	2.384,11	1.818,82	479,09
Flecha (m)	0,414	0,370	0,506	1,363
CS	4,12	4,67	6,12	23,24

A continuación (Tablas 11.3, 11.4 y 11.5), se muestran las tablas de tendido para los conductores LA-110, LA-280 y LA-380. Dichas tablas han sido obtenidas a partir de la ecuación del cambio de estado, considerando como estado inicial el correspondiente a la hipótesis más desfavorable, es decir, con viento de 120 km/h, -20° y zona C. Para cada valor de temperatura se ha obtenido una tensión, formando así la tabla de tendido para cada uno de los conductores, donde se señalan además las flechas (en metros) correspondientes a cada temperatura y a cada vano.

Tabla 11.3. Tabla de tendido para el cable LA-110

TIPO DE CABLE: LA-110						
		Vano (m)				
Temperatura °C	Tense (kgf)	45	50	55	60	64
0	663	0,16	0,20	0,25	0,29	0,33
5	595	0,18	0,23	0,27	0,33	0,37
10	532	0,20	0,25	0,31	0,36	0,41
15	474	0,23	0,28	0,34	0,41	0,46
20	424	0,26	0,32	0,38	0,46	0,52
25	380	0,29	0,35	0,43	0,51	0,58
30	343	0,32	0,39	0,47	0,56	0,64
35	312	0,35	0,43	0,52	0,62	0,71
40	286	0,38	0,47	0,57	0,68	0,77
45	264	0,41	0,51	0,62	0,73	0,83
50	246	0,44	0,55	0,66	0,79	0,89

Tabla 11.4. Tabla de tendido para el cable LA-280

TIPO DE CABLE: LA-280						
		Vano (m)				
Temperatura °C	Tense (kgf)	45	50	55	60	64
0	1330	0,19	0,23	0,28	0,33	0,38
5	1179	0,21	0,26	0,31	0,37	0,43
10	1045	0,24	0,29	0,35	0,42	0,48
15	927	0,27	0,33	0,40	0,48	0,54
20	828	0,30	0,37	0,45	0,53	0,61
25	745	0,33	0,41	0,50	0,59	0,67
30	676	0,37	0,45	0,55	0,65	0,74
35	620	0,40	0,49	0,60	0,71	0,81
40	573	0,43	0,53	0,65	0,77	0,88
45	533	0,47	0,57	0,70	0,83	0,94
50	500	0,50	0,61	0,74	0,88	1,00

Tabla 11.5. Tabla de tendido para el cable LA-380

TIPO DE CABLE: LA-380						
		Vano (m)				
Temperatura °C	Tense (kgf)	45	50	55	60	64
0	1646	0,20	0,24	0,29	0,35	0,40
5	1466	0,22	0,27	0,33	0,39	0,45
10	1300	0,25	0,31	0,37	0,44	0,50
15	1158	0,28	0,35	0,42	0,50	0,57



TIPO DE CABLE:		LA-380				
		Vano (m)				
Temperatura °C	Tense (kgf)	45	50	55	60	64
20	1037	0,31	0,39	0,47	0,56	0,63
25	936	0,35	0,43	0,52	0,62	0,70
30	853	0,38	0,47	0,57	0,68	0,77
35	784	0,41	0,51	0,62	0,73	0,84
40	726	0,45	0,55	0,67	0,79	0,90
45	678	0,48	0,59	0,71	0,85	0,97
50	637	0,51	0,63	0,76	0,90	1,03

Mediante las tablas de tendido para cables no compensados se conoce, en función de la temperatura ambiente que pueda existir el día del montaje y del vano, la tensión que hay que aplicar al cable y la flecha vertical resultante.

11.1.7 DETERMINACIÓN TENSIONES ÓPTIMAS PARA SUSTENTADOR E HILO DE CONTACTO

En los cables de la catenaria compensados mecánicamente, la tensión y la flecha de los hilos es siempre constante e independiente de la temperatura ambiente y del vano. Los valores estandarizados de tensión para el sustentador y para el hilo de contacto en alta velocidad son:

Sustentador

- Tensión: 1575 kgf
- Carga de rotura: 3961 kgf
- Coeficiente de seguridad: $CS=2.515$, superior al exigido por la Norma [UNE-EN-50119, 2002]

Hilo de contacto

- Tensión: 3150 kgf
- Carga de rotura: 7717 kgf
- Coeficiente de seguridad: $CS=2.45$, superior al exigido por la Norma [UNE-EN-50119, 2002].

Según la UNE 50119:2002 la tensión máxima de trabajo del hilo de contacto no debe exceder el 65% de la tensión máxima, ponderada con determinados factores, como los relativos a la temperatura del hilo de contacto, el desgaste y los esfuerzos de montaje. Los factores a considerar en el cálculo de la máxima tensión de carga admisible son los siguientes:

- $K_{\text{temperatura}}=1.0$
- $K_{\text{desgaste}}=0.85$



- $K_{\text{carga}}=0.9$
- $K_{\text{esfuerzo}}=0.95$

El esfuerzo máximo debe ser:

$$\sigma = 75.7 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 0.65 \cdot 1.0 \cdot 0.85 \cdot 0.9 \cdot 0.95 = 35760 \text{ N} = 3650 \text{ kgf}$$

Valor que es superior al tense del hilo de contacto, 3150 kgf.

11.2 ESFUERZOS EN LOS CABLES

Para calcular el momento de vuelco de una catenaria se deben considerar los esfuerzos verticales producidos por el peso de los diferentes elementos que actúan sobre los postes y los esfuerzos horizontales producidos por las tensiones mecánicas de los cables, por los descentramientos y por las curvas, así como considerar los esfuerzos producidos por los condicionantes atmosféricos, el viento y el hielo.

11.2.1 ESFUERZOS VERTICALES

Los esfuerzos verticales a considerar en el cálculo del momento de vuelco de una catenaria son los correspondientes al peso de los cables que conforman la línea aérea de contacto (hilos de contacto, sustentador, *feeder* + y -, cable de tierra, péndolas), así como los pesos de los elementos que son necesarios para mantener a los cables en su posición de trabajo (*ménsulas*, conjunto de atirantado, soportes *feeder*, etc.)

- **Peso de la catenaria:**

Corresponde al peso de la semilongitud del sustentador, de los hilos de contacto y de las péndolas existentes a cada lado del apoyo a estudiar.

En el presente proyecto únicamente se tiene en cuenta el peso de la semilongitud del sustentador y de los hilos de contacto. El peso de las péndolas se considerará despreciable.

- **Peso del conjunto de ménsula con atirantado dentro**

Este conjunto está formado por el propio cuerpo de la ménsula, conjunto de suspensión o pinza, tirante de ménsula, conjunto de atirantado, aisladores, así como la tornillería, plaquetas, etc.

Se considera despreciable al ser el momento que genera en el poste muy pequeño.

- **Peso del conjunto de ménsula con atirantado fuera**

Este conjunto está formado por el propio cuerpo de la ménsula, conjunto de suspensión o pinza, tirante de ménsula, conjunto de atirantado, aisladores, así como la tornillería, plaquetas, etc.

Se considera despreciable al ser el momento que genera en el poste muy pequeño.

- **Peso del conjunto de atirantado**



El peso del conjunto de atirantado está formado de forma genérica por los brazos de atirantado y por las piezas de unión.

Se considera despreciable al ser el momento que genera en el poste muy pequeño.

➤ **Sobrecargas motivadas por el hielo**

Corresponde a la sobrecarga que el hielo produce en los distintos cables que conforman la catenaria.

Según el art. 17 del Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas de Alta Tensión del Ministerio de Industria y Energía, se distinguen tres tipos de zonas A, B y C, en función de la altura del trazado.

- Zona A: Es la situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar. En esta zona no se tendrá en cuenta sobrecarga alguna motivada por el hielo.
- Zona B: Es la situada a una altitud de entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar. En esta zona se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor $180 \cdot d$ gramos por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en mm.
- Zona C: Es la situada a una altitud superior a los 1000 metros sobre el nivel del mar. En esta zona se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor $360 \cdot d$ gramos por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en mm.

El tramo objeto del presente proyecto tiene una altitud media de 700 metros sobre el nivel del mar. Pertenece, por tanto, a la zona B. El efecto del hielo se tiene en cuenta en la tensión de montaje de los cables pero no en el cálculo de los momentos de vuelco sobre los postes, ya que se puede considerar despreciable su efecto con respecto al resto de fuerzas que actúan sobre la catenaria.

11.2.2 ESFUERZOS HORIZONTALES

Se consideran como esfuerzos horizontales los que se producen en sentido perpendicular al tendido de la catenaria por efecto del viento y por los descentramientos, tanto en recta como en curva.

Se debe considerar el esfuerzo radial tanto del sustentador como de los hilos de contacto, que están en función del descentramiento, del radio de la curva, en caso de existir, y de las tensiones mecánicas de los cables, así como los incrementos de tensión que puede producir el viento sobre los cables y postes.

11.2.3 ESFUERZOS DE COMPENSACIÓN

Son los esfuerzos generados en los cantones de compensación por los cables y por los equipos de poleas y contrapesos. Tienen componentes en los tres ejes: X, Y, Z, pero como posteriormente se verá, únicamente influye la componente horizontal, perpendicular al tendido de la catenaria, ya que las otras dos componentes quedan equilibradas.

Resumiendo lo expuesto anteriormente, los esfuerzos, tanto verticales como horizontales, que se van a considerar en el dimensionamiento mecánico de la catenaria son los siguientes:

- Peso de los cables
- Fuerza del viento
- Fuerza de atirantado
- Fuerza inducida en las curvas
- Tensiones generadas por los equipos de compensación.

11.3 CÁLCULO DE LOS MOMENTOS TRANSMITIDOS EN LA BASE DE LOS POSTES

Los esfuerzos soportados por los cables generan un momento de vuelco en los postes. En este apartado se calcula el momento que cada tipo de cable genera en los distintos modelos de poste que conforman la catenaria del tramo de estudio.

11.3.1 SUSTENTADOR E HILO DE CONTACTO

Conocido el valor de las tensiones y fuerzas a las que están sometidos el sustentador y el hilo de contacto, se procede a calcular el momento que cada una de las fuerzas genera en la base de los postes.

Como ya se ha comentado anteriormente, los esfuerzos que se tienen en cuenta sobre el sustentador y sobre el hilo de contacto son los producidos por el peso de los cables, los producidos por el efecto del viento y el generado en el atirantado. En los tramos en curva también se considera el esfuerzo radial que se produce sobre el brazo de atirantado, perpendicular a la vía.

11.3.1.1 Cálculo del esfuerzo generado por el Viento y por el Peso

Se describe el momento que generan el viento y el peso del sustentador y del hilo de contacto sobre los postes de la catenaria:

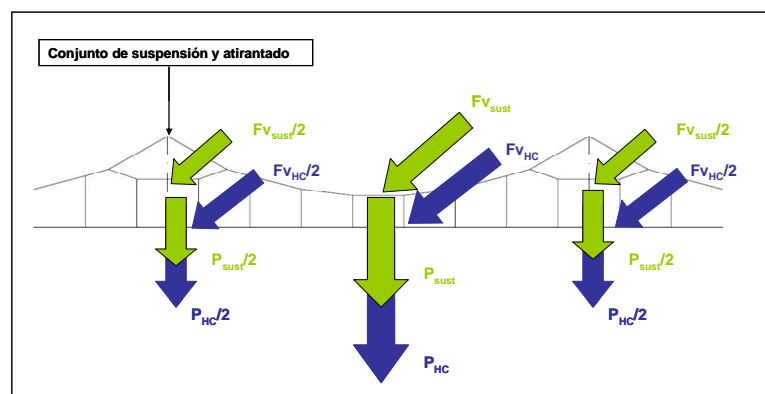


Figura 11.2. Resultante Peso de los cables y Fuerza del viento sobre los postes



En la figura 11.2 se observa como se reparten los esfuerzos a lo largo de un vano entre los dos postes contiguos, siendo:

- $F_{V_{HC}}$ = Resultante de la Fuerza del viento sobre el Hilo de Contacto [kgf]
- $F_{V_{Sust}}$ = Resultante de la Fuerza del viento sobre el Sustentador. [kgf]
- P_{HC} = Resultante del Peso del Hilo de Contacto. [kgf]
- P_{Sust} = Resultante del Peso del Sustentador [kgf]

Como cada poste forma parte de dos vanos diferentes, y los vanos y fuerzas que actúan sobre cada vano se consideran iguales a ambos lados de los postes, la resultante del Peso y de la Fuerza del Viento sobre cada uno de los poste será igual a:

$$\frac{F_{V_{HC}}^{Vano\ 1}}{2} + \frac{F_{V_{HC}}^{Vano\ 2}}{2} = F_{V_{HC}} \quad ; \quad \frac{F_{V_{Sust}}^{Vano\ 1}}{2} + \frac{F_{V_{Sust}}^{Vano\ 2}}{2} = F_{V_{Sust}} \quad (Ec. 11.14)$$

$$\frac{P_{HC}^{Vano\ 1}}{2} + \frac{P_{HC}^{Vano\ 2}}{2} = P_{HC} \quad ; \quad \frac{P_{Sust}^{Vano\ 1}}{2} + \frac{P_{Sust}^{Vano\ 2}}{2} = P_{Sust} \quad (Ec. 11.15)$$

Como ya se describió en el capítulo 7, Especificaciones de Diseño, se considera que en el tramo objeto de estudio la velocidad del viento es de 120 km/h. En la tabla 11.6 se muestra la resistencia del viento sobre los diferentes tipos de cables para $V_{viento} = 120$ km/h:

Tabla 11.6. Resistencia del viento sobre los diferentes tipos de cables para $V_{viento} = 120$ km/h

Tipo de cable	Presiones en kgf por metro lineal de cable
Tierra (LA-110) (14 mm Ø)	0,84
Cable de péndolas de 16 mm ² (5 mm Ø)	0,30
Hilo de contacto de Cu de 107 mm ² (12,24 mm Ø)	0,73
Hilo de contacto de Cu de 120 mm ² (12,92 mm Ø)	0,77
Hilo de contacto de Cu de 150mm ² (14,5 mm Ø)	1,06
Sustentador de Cu de 100 mm ² (11,28 mm Ø)	0,90
LA-380	1,27
LA-280	1,09
Feeder de Cu de 184 mm ² (17,54 mm Ø)	0,87
Feeder de Cu de 225 mm ² (19,46 mm Ø)	0,97
Feeder de aluminio de 253 mm ² (20,68 mm Ø)	1,03

Conocida la resistencia del viento sobre los cables, la fuerza que ejerce sobre ellos es:

$$F_v = R_v \cdot a \quad (Ec. 11.16)$$

Siendo:

- F_v = Fuerza del viento sobre los cables [kgf]



➤ R_v = Resistencia tabulada del viento [kgf/m]

➤ a = Vano [m]

Para el hilo de contacto:

Se trata de un hilo de Cobre (Cu) de 150 mm². Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en Kgf.por metro lineal de hilo de contacto es:

$$Rv_{HC} = 1,06 \text{ Kgf/m}$$

Siendo el valor del vano en recta $a = 64$ m, la fuerza del viento sobre el hilo de contacto a lo largo de un vano es:

$$Fv_{HC} = Rv_{HC} \cdot a_{recta} = 1,06 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 67,71 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.17})$$

Según lo especificado en el capítulo 8, en el apartado 8.3.7. Características de los Cables, el peso lineal del hilo de contacto es:

$$m_{HC} = 1,335 \text{ kgf/m}$$

Por lo tanto, el peso de hilo de contacto en un vano es:

$$P_{HC} = m_{HC} \cdot a_{recta} = 1,335 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 85,44 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.18})$$

Para el Sustentador:

Se trata de un hilo de Cobre (Cu) de 100 mm². Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en Kgf.por metro lineal de sustentador es:

$$Rv_{sust} = 0,90 \text{ Kgf/m}$$

$$Fv_{sust} = Rv_{sust} \cdot a_{recta} = 0,90 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 57,60 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.19})$$

$$m_{sust} = 0,89 \text{ kgf/m}$$

$$P_{sust} = m_{sust} \cdot a_{recta} = 0,89 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 56,96 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.20})$$

11.3.1.2 Esfuerzo de atirantado

En la Figura 11.3 se muestran las fuerzas que ejercen los conjuntos de atirantado sobre los cables.

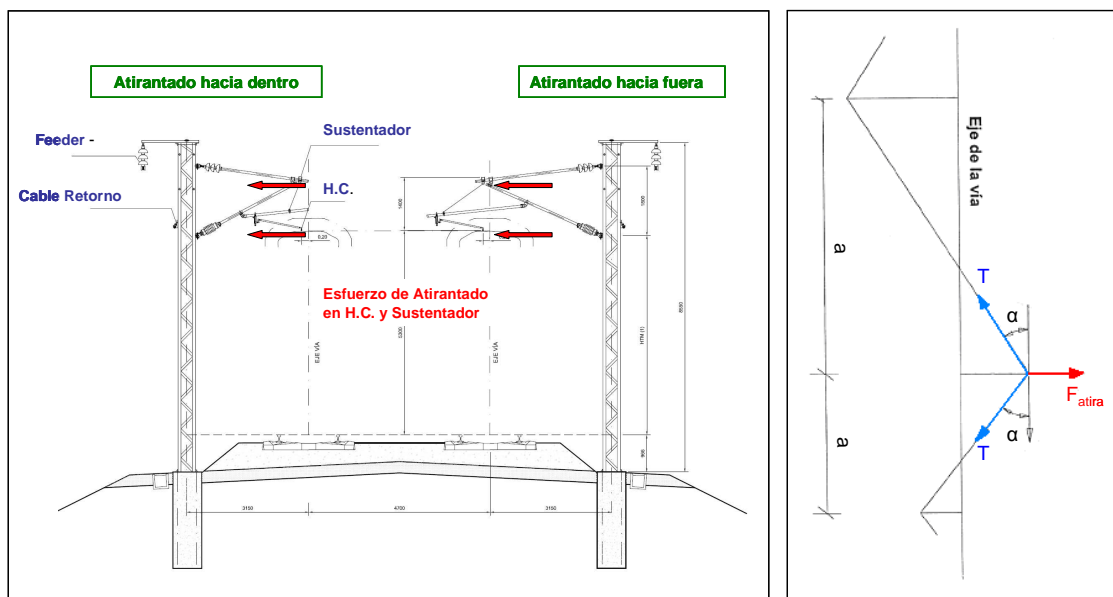


Figura 11.3. Esquema Atirantado

Como se vio en el capítulo 10, el esfuerzo de atirantado se puede obtener mediante la expresión [Ec. 10.17], la cual, simplificándola, queda de la siguiente forma::

$$F_{atira} = 2 \cdot T \cdot \sen \alpha \quad (\text{Ec. 11.21})$$

$$\sen \alpha \cong \tg \alpha = \frac{d}{\frac{a}{2}} \Rightarrow F_{atira} = 2 \cdot T \cdot \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{4 \cdot T \cdot d}{a} \quad (\text{Ec. 11.22})$$

Donde:

- F_a = Fuerza de atirantado [kgf]
- T = Tensión del cable [kgf]
- a = Longitud del vano [m]
- d = descentramiento [m]

Para el hilo de contacto:

Como se comento en el apartado 11.1.7., la tensión de tendido del Hilo de Contacto es:

$$T_{HC} = 3150 \text{ kgf}$$

El descentramiento es siempre: $d = \pm 20 \text{ cm} = \pm 0,20 \text{ m}$, y el vano, $a = 64 \text{ m}$, por lo tanto

$$F_{a_{HC}} = \frac{4 \cdot T_{HC} \cdot d}{a} = \frac{4 \cdot 3150 \text{ kgf} \cdot 0,20 \text{ m}}{64 \text{ m}} = 39,38 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.23})$$



Para el Sustentador:

$$T_{sust} = 1575 \text{ kgf} \rightarrow Fa_{sust} = \frac{4 \cdot T_{sust} \cdot d}{a} = \frac{4 \cdot 1575 \text{ kgf} \cdot 0,20 \text{ m}}{64 \text{ m}} = 19,69 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.24})$$

11.3.1.3 Esfuerzo en curva

El tramo Olmedo-Zamora es un trazado formado por rectas, curvas de radio $R = 5000 \text{ m}$ y curvas de radio $R = 1200 \text{ m}$.

Como ya se vio en capítulo 10, el esfuerzo radial que se produce en las curvas sobre el brazo de atirantado, perpendicular a la vía, viene expresado por la (Ec. 10.32), la cual se reproduce a continuación:

$$R_y = T \cdot \frac{a}{R + d}$$

Siendo:

- T = Tensión del cable [Kgf]
- a = vano [m]
- R = Radio de la curva [m]
- d = Descentramiento [m]

Para el hilo de contacto:

$$T_{HC} = 3150 \text{ kgf}$$

$$d = 0,20 \text{ m}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow Ry_{HC} = 40,32 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 1200 \text{ m}$

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow Ry_{HC} = 118,11 \text{ kgf}$$

Para el Sustentador:

$$T_{sust} = 1575 \text{ kgf}$$

$$d = 0,20 \text{ m}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow Ry_{sust} = 20,16 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 1200 \text{ m}$

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow Ry_{sust} = 59,05 \text{ kgf}$$

En la figura 11.4 se puede observar el conjunto de fuerzas que actúan sobre el hilo de contacto y sobre el cable sustentador, en recta y en el caso más desfavorable, las cuales generan los momentos de vuelco con respecto a la base de los postes.

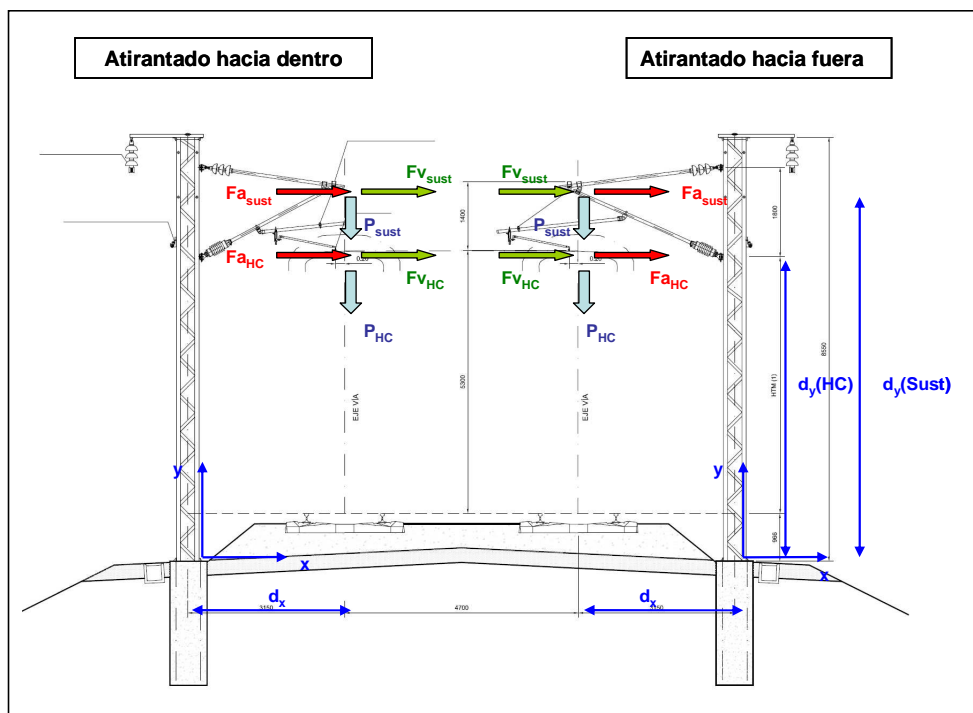


Figura 11.4. Fuerzas que actúan sobre el hilo de contacto y sobre el sustentador

11.3.1.4 Cálculo del Momento de Vuelco para el Hilo de Contacto

Para el cálculo del momento de vuelco se considera que el caso más desfavorable se produce cuando el poste vuelca hacia el eje de vía (como puede apreciarse en la figura 11.4 en el caso de atirantado hacia dentro), considerando este sentido de giro como positivo, y como momento negativo el sentido hacia fuera de la vía.

Para el caso en recta:

$$M_{tot\ HC} = M_{v\ HC} + M_{p\ HC} + M_{a\ HC} \quad (Ec. 11.25)$$

$$M_{v\ HC} = F_{v\ HC} \cdot d_{y\ HC} = \text{Momento generado por el viento, [kgf}\cdot\text{m]}$$

$$M_{p\ HC} = P_{HC} \cdot d_{x\ HC} = \text{Momento generado por el peso del hilo de contacto, [kgf}\cdot\text{m]}$$

$$M_{a\ HC} = F_{a\ HC} \cdot d_{y\ HC} = \text{Momento generado por el esfuerzo de atirantado en el hilo de contacto, [kgf}\cdot\text{m]}$$

Para el hilo de contacto:

$$d_{y\ HC} = 6,15 \text{ m}$$



$$dx_{HC} = 3,20 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{HC}} = (67,71 \text{ kgf} \cdot 6,15 \text{ m}) + (85,44 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + (39,38 \text{ kgf} \cdot 6,15 \text{ m}) = \mathbf{931,99 \text{ kgf} \cdot m}$$

Para el caso en curva de $R = 5000 \text{ m}$:

$$M_{tot_{HC}} = M_{v_{HC}} + M_{p_{HC}} + M_{a_{HC}} + M_{cur_{HC}}^{5000} \quad (\text{Ec. 11.26})$$

$$M_{cur_{HC}}^{5000} = R y_{HC} \cdot dy_{HC} = \text{Momento generado en curva de } R = 5000 \text{ m, [kgf} \cdot \text{m]}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{HC}} = 931,99 \text{ kgf} \cdot m + (40,32 \text{ kgf} \cdot 6,15 \text{ m}) = \mathbf{1179,95 \text{ kgf} \cdot m}$$

Para el caso en curva de $R = 1200 \text{ m}$:

$$M_{tot_{HC}} = M_{v_{HC}} + M_{p_{HC}} + M_{a_{HC}} + M_{cur_{HC}}^{1200} \quad (\text{Ec. 11.27})$$

$$M_{cur_{HC}}^{1200} = R y_{HC} \cdot dy_{HC} = \text{Momento generado en curva de } R = 1200 \text{ m, [kgf} \cdot \text{m]}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{HC}} = 931,99 \text{ kgf} \cdot m + (118,11 \text{ kgf} \cdot 6,15 \text{ m}) = \mathbf{1658,34 \text{ kgf} \cdot m}$$

11.3.1.5 Cálculo del momento de vuelco para el Sustentador

Al igual que sucede con el hilo de contacto, se considera que el caso mas desfavorable se produce cuando el poste vuelca hacia el eje de vía, considerando este sentido de giro como positivo.

Antes de calcular el momento de vuelco generado por el sustentador es necesario remarcar que el cable sustentador se puede colocar a diferentes alturas en el poste dependiendo de la configuración de la vía y, en consecuencia, del tipo de poste a instalar. De este modo:

- *Sustentador a 1,4 m del Hilo de contacto:* El cable sustentador se coloca 1,4 metros por encima del hilo de contacto. Es la configuración típica para postes con una sola *ménsula*, que son los utilizados en la mayor parte del tramo.
- *Sustentador a 1,8 m del Hilo de Contacto:* El cable sustentador se coloca 1,8 metros por encima del hilo de contacto. Se suele colocar en los postes de 3 *ménsulas* junto con el sustentador a 1,4 m y el sustentador a 2,2 m.
- *Sustentador a 2,2 m del Hilo de Contacto:* El cable sustentador se coloca 2,2 metros por encima del hilo de contacto. Se suele colocar en los postes de 3 *ménsulas* junto con el sustentador a 1,4 m y el sustentador a 1,8 m.
- *Sustentador a 2,5 m del Hilo de Contacto:* El cable sustentador se coloca 2,5 metros por encima del hilo de contacto. Se suele colocar en los postes con dos *ménsulas*, como pueden ser lo ejes de seccionamiento y los semiejes, junto con el sustentador a 1,4 metros del hilo de contacto.



Para el caso en recta:

$$M_{tot\ Sust} = M_{v\ Sust} + M_{p\ Sust} + M_{a\ Sust} \quad (Ec. 11.28)$$

$$M_{v\ Sust} = F_{v\ Sust} \cdot dy_{Sust} = \text{Momento generado por el viento, [kgf}\cdot\text{m]}$$

$$M_{p\ Sust} = P_{Sust} \cdot dx_{Sust} = \text{Momento generado por el peso del sustentador, [kgf}\cdot\text{m]}$$

$$M_{a\ Sust} = F_{a\ Sust} \cdot dy_{Sust} = \text{Momento generado por el esfuerzo de atirantado en el sustentador, [kgf}\cdot\text{m]}$$

Para el sustentador:

$dy_{sust} (1,4\text{ m}) = 7,55\text{ m}$ = Distancia vertical del sustentador a 1,4 m del hilo de contacto de la base del poste

$dy_{sust} (1,8\text{ m}) = 7,95\text{ m}$ = Distancia vertical del sustentador a 1,8 m del hilo de contacto de la base del poste

$dy_{sust} (2,2\text{ m}) = 8,35\text{ m}$ = Distancia vertical del sustentador a 2,2 m del hilo de contacto de la base del poste

$dy_{sust} (2,5\text{ m}) = 8,65\text{ m}$ = Distancia vertical del sustentador a 2,5 m del hilo de contacto de la base del poste

$$dx_{Sust} = 3,20\text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot\ Sust} (1,4\text{m}) = (57,60\text{ kgf} \cdot 7,55\text{ m}) + (56,96\text{ kgf} \cdot 3,20\text{ m}) + (19,69\text{ kgf} \cdot 6,15\text{ m}) = \mathbf{765,79\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (1,8\text{m}) = (57,60\text{ kgf} \cdot 7,95\text{ m}) + (56,96\text{ kgf} \cdot 3,20\text{ m}) + (19,69\text{ kgf} \cdot 6,15\text{ m}) = \mathbf{796,71\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (2,2\text{m}) = (57,60\text{ kgf} \cdot 8,35\text{ m}) + (56,96\text{ kgf} \cdot 3,20\text{ m}) + (19,69\text{ kgf} \cdot 6,15\text{ m}) = \mathbf{827,62\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (2,5\text{m}) = (57,60\text{ kgf} \cdot 8,65\text{ m}) + (56,96\text{ kgf} \cdot 3,20\text{ m}) + (19,69\text{ kgf} \cdot 6,15\text{ m}) = \mathbf{850,81\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 5000\text{ m}$:

$$M_{tot\ Sust} = M_{v\ Sust} + M_{p\ Sust} + M_{a\ Sust} + M_{cur\ Sust}^{5000} \quad (Ec. 11.29)$$

$$M_{cur\ Sust}^{5000} = R y_{Sust} \cdot dy_{Sust} = \text{Momento generado en curva de } R = 5000\text{ m, [kgf}\cdot\text{m]}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot\ Sust} (1,4\text{ m}) = 765,79\text{ kgf}\cdot\text{m} + (20,16\text{ kgf} \cdot 7,55\text{ m}) = \mathbf{917,99\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (1,8\text{ m}) = 796,71\text{ kgf}\cdot\text{m} + (20,16\text{ kgf} \cdot 7,95\text{ m}) = \mathbf{956,97\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (2,2\text{ m}) = 827,62\text{ kgf}\cdot\text{m} + (20,16\text{ kgf} \cdot 8,35\text{ m}) = \mathbf{995,95\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

$$M_{tot\ Sust} (2,5\text{ m}) = 850,81\text{ kgf}\cdot\text{m} + (20,16\text{ kgf} \cdot 8,65\text{ m}) = \mathbf{1025,19\text{ kgf}\cdot\text{m}}$$



Para el caso en curva de $R = 1200$ m:

$$M_{tot\,Sust} = M_{v\,Sust} + M_{p\,Sust} + M_{a\,Sust} + M_{cur\,Sust}^{1200} \quad (Ec. 11.30)$$

$$M_{cur\,Sust}^{1200} = R y_{Sust} \cdot dy_{Sust} = \text{Momento generado en curva de } R = 1200 \text{ m, [kgf}\cdot\text{m]}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot\,Sust} (1,4 \text{ m}) = 765,79 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (59,05 \text{ kgf} \cdot 7,55 \text{ m}) = 1211,64 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

$$M_{tot\,Sust} (1,8 \text{ m}) = 796,71 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (59,05 \text{ kgf} \cdot 7,95 \text{ m}) = 1266,18 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

$$M_{tot\,Sust} (2,2 \text{ m}) = 827,62 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (59,05 \text{ kgf} \cdot 8,35 \text{ m}) = 1320,71 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

$$M_{tot\,Sust} (2,5 \text{ m}) = 850,81 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (59,05 \text{ kgf} \cdot 8,65 \text{ m}) = 1361,61 \text{ kgf}\cdot\text{m}$$

11.3.2 CABLE DE RETORNO, *FEEDER* – Y *FEEDER* +

Al tratarse de cables no compensados y sin esfuerzos de atirantado, las fuerzas que actúan sobre ellos son su propio peso y la producida por efecto del viento.

11.3.2.1 Cálculo del esfuerzo generado por el Viento y el Peso

Para el *feeder* –:

Se trata de un hilo LA-380. Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf por metro lineal de hilo es

$$Rv_{feed-} = 1,27 \text{ kgf/m}$$

Siendo el vano en recta $a = 64$ m, la fuerza del viento sobre el *feeder* - a lo largo de un vano será:

$$Fv_{feed-} = Rv_{feed-} \cdot a_{recta} = 1,27 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 81,28 \text{ kgf} \quad (Ec. 11.31)$$

Según lo especificado en el capítulo 8, en el apartado 8.4.7. Características de los Conductores, el peso lineal del *feeder* - es:

$$m_{feed-} = 1,275 \text{ kgf/m}$$

Por lo tanto el peso de *feeder* – en un vano será:

$$P_{feed-} = m_{feed-} \cdot a_{recta} = 1,275 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 81,92 \text{ kgf} \quad (Ec. 11.32)$$

Para el *feeder* +:

Se trata de un hilo de LA-280. Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf por metro lineal de hilo es:

$$Rv_{feed+} = 1,09 \text{ kgf/m}$$



$$a = 64 \text{ m}$$

$$Fv_{feed+} = Rv_{feed+} \cdot a_{recta} = 1,09 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 69,76 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.33})$$

$$m_{feed+} = 0,976 \text{ kgf/m}$$

$$P_{feed+} = m_{feed+} \cdot a_{recta} = 0,976 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 62,72 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.34})$$

Para el cable de retorno:

Se trata de un hilo de LA-110. Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf por metro lineal de hilo es:

$$Rv_{CR} = 0,84 \text{ kgf/m}$$

$$a = 64 \text{ m}$$

$$Fv_{CR} = Rv_{CR} \cdot a_{recta} = 0,84 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 53,76 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.35})$$

$$m_{CR} = 0,43 \text{ kgf/m}$$

$$P_{CR} = m_{CR} \cdot a_{recta} = 0,43 \text{ kgf} / \text{m} \cdot 64 \text{ m} = 27,52 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.36})$$

11.3.2.2 Esfuerzo generado en Curva

La fuerza radial que se genera en las curvas sobre el *feeder* -, el *feeder* + y el cable de retorno se deduce de la expresión (Ec. 10.34):

Para el *feeder* -:

$$T_{feed-} = 2700 \text{ kgf}$$

$$d = 0,20 \text{ m}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow Ry_{feed-} = 34,56 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 1200 \text{ m}$

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow Ry_{feed-} = 101,25 \text{ kgf}$$

Para el *feeder* +:

$$T_{feed+} = 2200 \text{ kgf}$$

$$d = 0,20 \text{ m}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow Ry_{feed+} = 28,16 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 1200$ m

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow Ry_{feed+} = 82,50 \text{ kgf}$$

Para el cable de retorno:

$$T_{CR} = 1100 \text{ kgf}$$

$$d = 0,20 \text{ m}$$

- Para Curvas de $R = 5000$ m:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow Ry_{CR} = 14,08 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 1200$ m

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow Ry_{CR} = 41,25 \text{ kgf}$$

En la figura 11.5 se pueden observar el conjunto de fuerzas que actúan sobre el *feeder* -, el *feeder* + y el cable de retorno, en recta, generando los momentos de vuelco con respecto a la base de los postes.

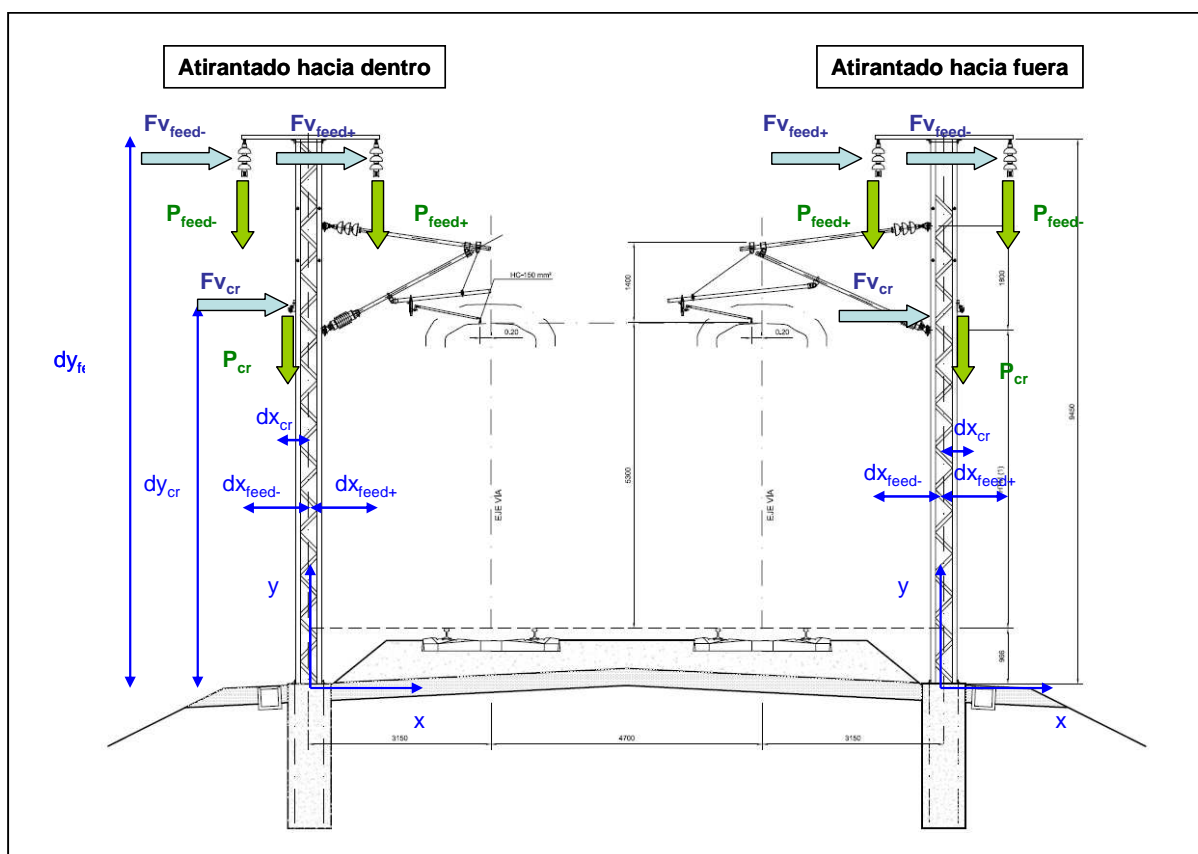


Figura 11.5. Fuerzas que actúan sobre el *feeder* -, *feeder* + y cable de retorno



11.3.2.3 Cálculo del Momento de Vuelco para el *Feeder* -

Para el cálculo del momento de vuelco, se considera que el caso más desfavorable se produce cuando el poste vuelca hacia el eje de vía, como se refleja en la figura 11.5 en el atirantado hacia dentro, considerando este sentido de giro como positivo, y como momento negativo el sentido hacia fuera de la vía.

Para el caso en recta:

$$M_{tot_{Feeder-}} = M_{v_{Feeder-}} - M_{p_{Feeder-}} \quad (Ec. 11.37)$$

$$M_{v_{Feeder-}} = F_{v_{Feeder-}} \cdot dy_{Feeder-} = \text{Momento generado por el viento}$$

$$M_{p_{Feeder-}} = P_{Feeder-} \cdot dx_{Feeder-} = \text{Momento generado por el peso del feeder -}$$

Para el *Feeder* -:

$$dy_{Feeder-} = 9,15 \text{ m}$$

$$dx_{Feeder-} = 1,30 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feeder-}} = (81,28 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) - (81,92 \text{ kgf} \cdot 1,30 \text{ m}) = \mathbf{637,22 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 5000 \text{ m}$:

$$M_{tot_{Feeder-}} = M_{v_{Feeder-}} - M_{p_{Feeder-}} + M_{cur_{Feeder-}}^{5000} \quad (Ec. 11.38)$$

$$M_{cur_{Feeder-}}^{5000} = R_{y_{Feeder-}} \cdot dy_{Feeder-} = \text{Momento generado en curva de } R = 5000 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feeder-}} = 637,22 \text{ kgf} \cdot \text{m} + (34,56 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) = \mathbf{953,44 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 1200 \text{ m}$:

$$M_{tot_{Feeder-}} = M_{v_{Feeder-}} - M_{p_{Feeder-}} + M_{cur_{Feeder-}}^{1200} \quad (Ec. 11.39)$$

$$M_{cur_{Feeder-}}^{1200} = R_{y_{Feeder-}} \cdot dy_{Feeder-} = \text{Momento generado en curva de } R = 1200 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feeder-}} = 637,22 \text{ kgf} \cdot \text{m} + (101,25 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) = \mathbf{1563,65 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

11.3.2.4 Cálculo del Momento de Vuelco para el *Feeder* +

Para el cálculo del momento de vuelco, se considera que el caso más desfavorable se produce cuando el poste vuelca hacia el eje de vía, como se refleja en la figura 11.5 en el atirantado hacia dentro,



considerando este sentido de giro como positivo, y como momento negativo el sentido hacia fuera de la vía.

Para el caso en recta:

$$M_{tot_{Feed+}} = M_{v_{Feed+}} + M_{p_{Feed+}} \quad (Ec. 11.40)$$

$$M_{v_{Feed+}} = F_{v_{Feed+}} \cdot dy_{Feed+} = \text{Momento generado por el viento}$$

$$M_{p_{Feed+}} = P_{Feed+} \cdot dx_{Feed+} = \text{Momento generado por el peso del feeder +}$$

Para el *Feeder +*, se tiene

$$dy_{Feed+} = 9,15 \text{ m}$$

$$dx_{Feed+} = 1,30 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feed+}} = (69,76 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) + (62,72 \text{ kgf} \cdot 1,30 \text{ m}) = \mathbf{719,84 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 5000 \text{ m}$:

$$M_{tot_{Feed+}} = M_{v_{Feed+}} + M_{p_{Feed+}} + M_{cur_{Feed+}}^{5000} \quad (Ec. 11.41)$$

$$M_{cur_{Feed+}}^{5000} = R_{y_{Feed+}} \cdot dy_{Feed+} = \text{Momento generado en curva de } R = 5000 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feed+}} = 719,84 \text{ kgf} \cdot \text{m} + (28,16 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) = \mathbf{977,50 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 1200 \text{ m}$:

$$M_{tot_{Feed+}} = M_{v_{Feed+}} + M_{p_{Feed+}} + M_{cur_{Feed+}}^{1200} \quad (Ec. 11.42)$$

$$M_{cur_{Feed+}}^{1200} = R_{y_{Feed+}} \cdot dy_{Feed+} = \text{Momento generado en curva de } R = 1200 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{Feed+}} = 719,84 \text{ kgf} \cdot \text{m} + (82,50 \text{ kgf} \cdot 9,15 \text{ m}) = \mathbf{1474,72 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

11.3.2.5 Cálculo del Momento de Vuelco para el Cable de Retorno

Para el cálculo del momento de vuelco, se considera que el caso más desfavorable se produce cuando el poste vuelca hacia el eje de vía, como se refleja en la figura 11.5 en el atirantado hacia dentro, considerando este sentido de giro como positivo, y como momento negativo el sentido hacia fuera de la vía.



Para el caso en recta:

$$M_{tot_{CR}} = M_{v_{CR}} - M_{p_{CR}} \quad (Ec. 11.43)$$

$M_{v_{CR}} = F_{v_{CR}} \cdot dy_{CR}$ = Momento generado por el viento

$M_{p_{CR}} = P_{CR} \cdot dx_{CR}$ = Momento generado por el peso del cable de retorno

Para el cable de retorno, se tiene:

$$dy_{Feed+} = 6,35 \text{ m}$$

$$dx_{Feed+} = 0,24 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{CR}} = (53,76 \text{ kgf} \cdot 6,35 \text{ m}) - (27,52 \text{ kgf} \cdot 0,24 \text{ m}) = \mathbf{334,77 \text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 5000 \text{ m}$:

$$M_{tot_{CR}} = M_{v_{CR}} - M_{p_{CR}} + M_{cur_{CR}}^{5000} \quad (Ec. 11.44)$$

$M_{cur_{CR}}^{5000} = R_{y_{CR}} \cdot dy_{CR}$ = Momento generado en curva de $R = 5000 \text{ m}$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{CR}} = 334,77 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (14,08 \text{ kgf} \cdot 6,35 \text{ m}) = \mathbf{430,78 \text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

Para el caso en curva de $R = 1200 \text{ m}$:

$$M_{tot_{CR}} = M_{v_{CR}} - M_{p_{CR}} + M_{cur_{CR}}^{1200} \quad (Ec. 11.45)$$

$M_{cur_{CR}}^{1200} = R_{y_{CR}} \cdot dy_{CR}$ = Momento generado en curva de $R = 1200 \text{ m}$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{CR}} = 334,77 \text{ kgf}\cdot\text{m} + (41,25 \text{ kgf} \cdot 6,35 \text{ m}) = \mathbf{603,31 \text{ kgf}\cdot\text{m}}$$

11.3.3 ANCLAJE DE SUSTENTADOR Y ANCLAJE DE HILO DE CONTACTO.

Se pueden encontrar los anclajes de sustentador y los anclajes de hilo de contacto en:

- Los anclajes de seccionamiento
- Los cambios de aguja.

En la figura 11.6 se muestra el esquema de un seccionamiento de 4 vanos.

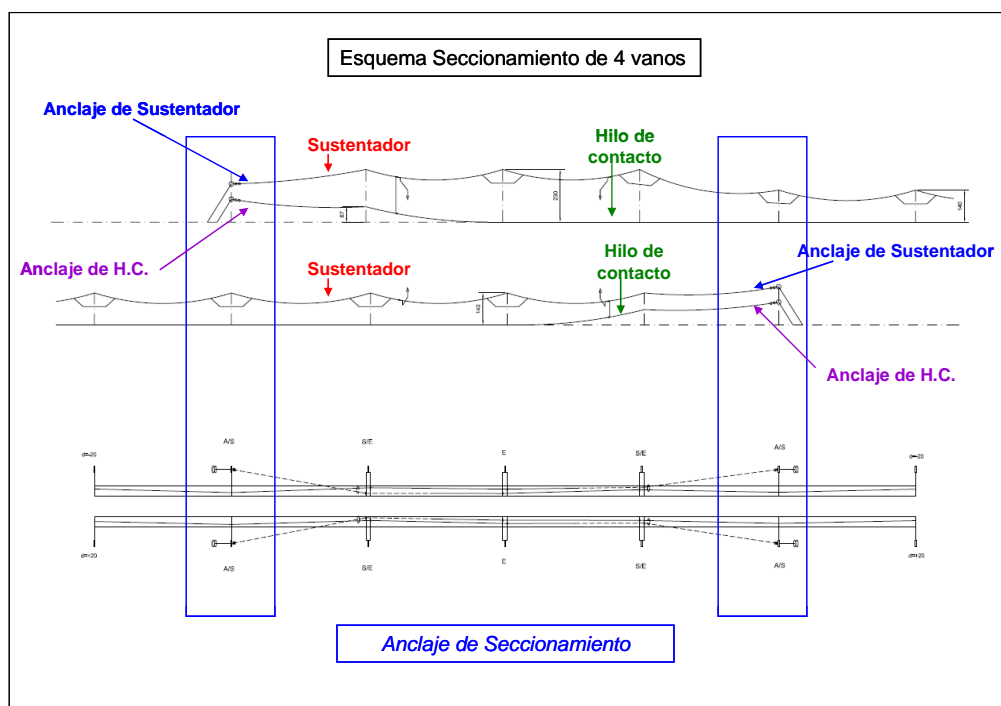


Figura 11.6. Esquema de un seccionamiento de 4 vanos

Como puede observarse en la figura 11.6, los anclajes del seccionamiento son el final de un cantón y el comienzo del siguiente.

Las fuerzas de atirantado que sufren los postes se pueden ver representadas en la figura 11.7:

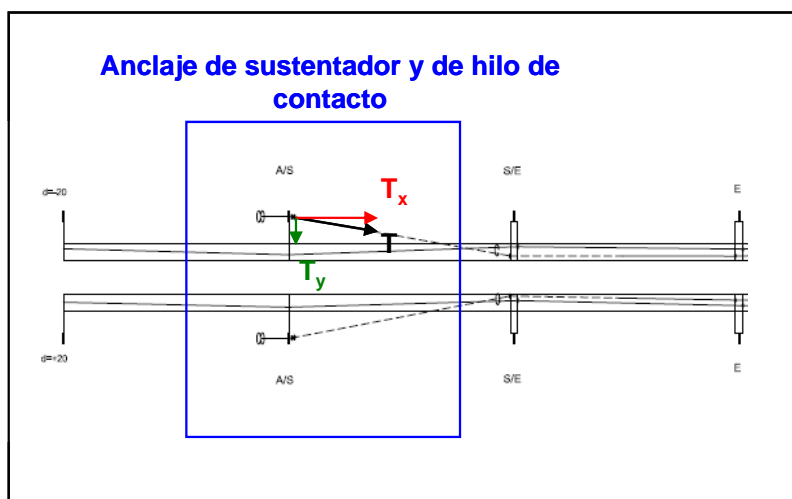


Figura 11.7. Fuerza de atirantado en el anclaje de seccionamiento

Como puede apreciarse en la figura 11.7, la componente de la tensión de anclaje del sustentador, y del hilo de contacto, que se tiene en cuenta para calcular el momento de vuelco sobre el poste es la perpendicular al eje de vía, T_y , ya que la componente paralela a la vía, T_x , será absorbida por la

cimentación del anclaje (Figura 11.8). El anclaje de seccionamiento está sujeto a la cimentación mediante un tirante, el cual será el encargado de transmitir la componente T_x a la cimentación.

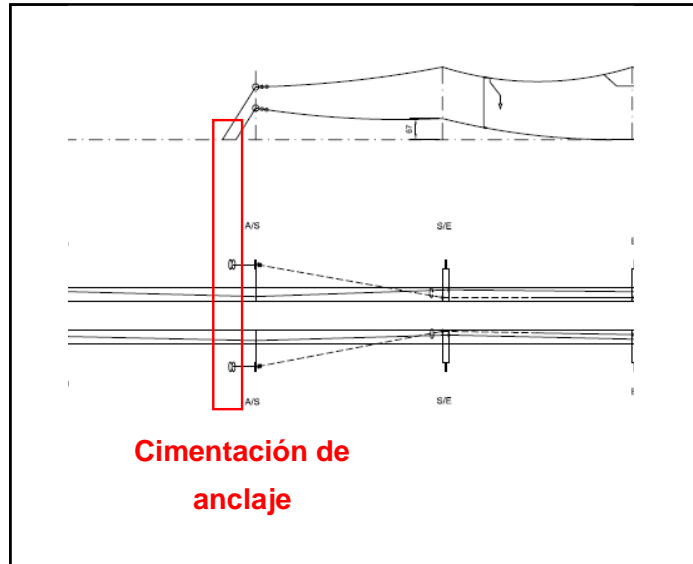


Figura 11.8. Anclaje del Hilo de Contacto y del Sustentador a la cimentación.

La componente perpendicular al eje de vía, T_y , será:

$$T_y = T \cdot \sin \alpha \quad (\text{Ec. 11.46})$$

Siendo:

- T = Tensión del Anclaje del Sustentador o del Hilo de Contacto [kgf]
- α = Angulo formado por el Anclaje del Sustentador, o del Hilo de Contacto, y el eje de vía.

$$\alpha = \arctg \left[\frac{D_y}{Vano} \right] ; D_y = \text{distancia del poste al eje de la vía}$$

11.3.3.1 Cálculo del esfuerzo generado por el Viento y por el Peso

Para el anclaje del hilo de contacto:

Se trata de un hilo de Cobre (Cu) de 150 mm^2 . Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf fuerza por metro lineal de hilo es:

$$Rv_{AHC} = Rv_{HC} = 1,06 \text{ kgf/m}$$

$$a = 64 \text{ m}$$

$$Fv_{AHC} = Fv_{HC} = Rv_{HC} \cdot a_{recta} = 1,06 \text{ kgf/m} \cdot 64 \text{ m} = 67,71 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.47})$$

$$m_{AHC} = m_{HC} = 1,335 \text{ kgf/m}$$



$$P_{HC} = P_{HC} = m_{HC} \cdot a_{recta} = 1,335 \text{ kgf} / m \cdot 64 m = 85,44 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.48})$$

Para el anclaje del sustentador:

Se trata de un hilo de Cobre (Cu) de 100 mm^2 . Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf fuerza por metro lineal de hilo es:

$$Rv_{Asust} = Rv_{sust} = 0,90 \text{ kgf/m}$$

$$a = 64 \text{ m}$$

$$Fv_{Asust} = Fv_{sust} = Rv_{sust} \cdot a_{recta} = 0,90 \text{ kgf} / m \cdot 64 m = 57,60 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.49})$$

$$m_{Asust} = m_{sust} = 0,89 \text{ kgf/m}$$

$$P_{Asust} = P_{sust} = m_{sust} \cdot a_{recta} = 0,89 \text{ kgf} / m \cdot 64 m = 56,96 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.50})$$

11.3.3.2 Cálculo de la Tensión de Anclaje

Para el Anclaje del Sustentador:

$$T_{AS} = T_{sust} = 1575 \text{ kgf}$$

$$\alpha = \arctg \left[\frac{D_y}{Vano} \right] = \arctg \left[\frac{3,45 m}{64 m} \right]$$

Por lo tanto:

$$Ty_{AS} = T_{AS} \cdot \sen \alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \sen \left(\arctg \left[\frac{3,45 m}{64 m} \right] \right) = 84,78 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.51})$$

Para el Anclaje del Hilo de Contacto:

$$T_{AHC} = T_{HC} = 3150 \text{ kgf}$$

$$\alpha = \arctg \left[\frac{D_y}{Vano} \right] = \arctg \left[\frac{3,20 m}{64 m} \right]$$

Por lo tanto:

$$Ty_{AHC} = T_{AHC} \cdot \sen \alpha = 3150 \text{ kgf} \cdot \sen \left(\arctg \left[\frac{3,20 m}{64 m} \right] \right) = 157,30 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.52})$$

11.3.3.3 Cálculo de la Tensión de Anclaje en Curva

Para el Anclaje del Sustentador:

$$T_{AS} = T_{sust} = 1575 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]$$

$$Ty_{AS} = T_{AS} \cdot \sen\alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \sen\left(\arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]\right) = 84,78 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.53})$$

- Para Curvas de $R = 1200 \text{ m}$

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{45 \text{ m}}\right]$$

$$Ty_{AS} = T_{AS} \cdot \sen\alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \sen\left(\arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{45 \text{ m}}\right]\right) = 111,72 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.54})$$

Para el Anclaje del Hilo de Contacto:

$$T_{AHC} = T_{HC} = 3150 \text{ kgf}$$

- Para Curvas de $R = 5000 \text{ m}$:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,20 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]$$

$$Ty_{AHC} = T_{AHC} \cdot \sen\alpha = 3150 \text{ kgf} \cdot \sen\left(\arctg\left[\frac{3,20 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]\right) = 157,30 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.55})$$

- Para Curvas de $R = 1200 \text{ m}$

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,20 \text{ m}}{45 \text{ m}}\right]$$

$$Ty_{AHC} = T_{AHC} \cdot \sen\alpha = 3150 \text{ kgf} \cdot \sen\left(\arctg\left[\frac{3,20 \text{ m}}{45 \text{ m}}\right]\right) = 240,79 \text{ kgf} \quad (\text{Ec. 11.56})$$

11.3.3.4 Cálculo del Momento de Vuelco para el Anclaje del Sustentador

Dependiendo del tipo de poste respecto del cual se esté calculando el momento de vuelco, existen dos situaciones diferentes:



A) Anclaje del Sustentador en el Anclaje del Seccionamiento:

Para el caso en recta:

$$M_{tot\ ASust} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{ASust} + \frac{1}{2} \cdot Mp_{ASust} + Ma_{ASust} \quad (Ec. 11.57)$$

$$Mv_{ASust} = Fv_{ASust} \cdot dy_{ASust} = \text{Momento generado por el viento}$$

$$Mp_{ASust} = P_{ASust} \cdot dx_{ASust} = \text{Momento generado por el peso del anclaje del sustentador}$$

$$Ma_{ASust} = Fa_{ASust} \cdot dy_{ASust} = \text{Momento generado por el esfuerzo de atirantado en el anclaje del sustentador}$$

Para el anclaje del sustentador:

$$dy_{ASust} = 8,90 \text{ m}$$

$$dx_{ASust} = 0 \text{ m, el anclaje del sustentador se fija directamente sobre el poste.}$$

Por lo tanto:

$$Mp_{ASust} = P_{ASust} \cdot dx_{ASust} = 0$$

$$M_{tot\ ASust} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = 1010,86 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 5000 m:

$$M_{tot\ ASust} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = 1010,86 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 1200 m:

$$M_{tot\ ASust} = (111,72 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = 1250,61 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

B) Anclaje del Sustentador en el semieje del seccionamiento

En este caso, el peso del anclaje del sustentador si genera un momento con respecto al semieje del seccionamiento.

Al ser el momento generado por el atirantado del anclaje superior al producido por el peso del cable, se considera como caso más desfavorable aquel en el que el semieje del seccionamiento vuelque hacia el exterior de la vía, considerando este sentido de giro como positivo.

Para el caso en recta:

$$M_{tot\ ASust} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{ASust} - \frac{1}{2} \cdot Mp_{ASust} + Ma_{ASust} \quad (Ec. 11.58)$$

$$dy_{ASust} = 8,90 \text{ m}$$

$$dx_{ASust} = 3,20 \text{ m}$$



Por lo tanto:

$$\mathbf{M_{tot_{ASust}}} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = \mathbf{919,72 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de R = 5000 m:

$$\mathbf{M_{tot_{ASust}}} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = \mathbf{919,72 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de R = 1200 m:

$$\mathbf{M_{tot_{ASust}}} = (111,72 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 8,90 \text{ m}) = \mathbf{1159,47 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

11.3.3.5 Cálculo del Momento de vuelco para el Anclaje del Hilo de Contacto

Dependiendo del tipo de poste respecto del cual se esté calculando el momento de vuelco, existen dos situaciones diferentes:

A) Anclaje del Hilo de Contacto en el Anclaje del Seccionamiento:

Para el caso en recta:

$$M_{tot_{AHC}} = \frac{1}{2} \cdot M_{v_{AHC}} + \frac{1}{2} \cdot M_{p_{AHC}} + M_{a_{AHC}} \quad (\text{Ec. 11.59})$$

$$M_{v_{AHC}} = F_{v_{AHC}} \cdot dy_{AHC} = \text{Momento generado por el viento}$$

$$M_{p_{AHC}} = P_{AHC} \cdot dx_{AHC} = \text{Momento generado por el peso del anclaje del hilo de contacto}$$

$$M_{a_{AHC}} = F_{a_{AHC}} \cdot dy_{AHC} = \text{Momento generado por el esfuerzo de atirantado en el anclaje del H.C.}$$

Para el anclaje del hilo de contacto, tenemos:

$$dy_{AHC} = 8,00 \text{ m}$$

$$dx_{AHC} = 0 \text{ m, el anclaje del hilo de contacto se fija directamente sobre el poste.}$$

Por lo tanto:

$$M_{p_{AHC}} = P_{AHC} \cdot dx_{AHC} = 0$$

$$\mathbf{M_{tot_{AHC}}} = (157,30 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = \mathbf{1529,28 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de R = 5000 m:

$$\mathbf{M_{tot_{AHC}}} = (157,30 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = \mathbf{1529,28 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

Para el caso en curva de R = 1200 m:

$$\mathbf{M_{tot_{AHC}}} = (240,79 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = \mathbf{2197,19 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$$

B) Anclaje del Hilo de Contacto en el semieje del seccionamiento

En este caso, el peso del anclaje del hilo de contacto si genera un momento con respecto al semieje del seccionamiento.

Al ser el momento generado por el atirantado del anclaje superior al producido por el peso del cable, se considera como caso más desfavorable aquel en el que el semieje del seccionamiento vuelque hacia el exterior de la vía, considerando este sentido de giro como positivo.

Para el caso en recta:

$$M_{tot_AHC} = \frac{1}{2} \cdot M_{v_AHC} - \frac{1}{2} \cdot M_{p_AHC} + M_{a_AHC} \quad (Ec. 11.60)$$

$$dy_{AHC} = 8,00 \text{ m}$$

$$dx_{AHC} = 3,20 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_AHC} = (157,30 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (85,44 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = 1392,57 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 5000 m:

$$M_{tot_AHC} = (157,30 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (85,44 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = 1392,57 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 1200 m:

$$M_{tot_AHC} = (240,79 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) - \frac{1}{2} \cdot (85,44 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (67,71 \text{ kgf} \cdot 8,00 \text{ m}) = 2060,49 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

11.3.4 COLA DE ANCLAJE

En la figura 11.9 se puede ver la ubicación de la cola de anclaje, uniendo el punto fijo a los dos anclajes de punto fijo. En la figura 11.10 se puede apreciar la descomposición de la tensión de la cola de anclaje con respecto al punto fijo.

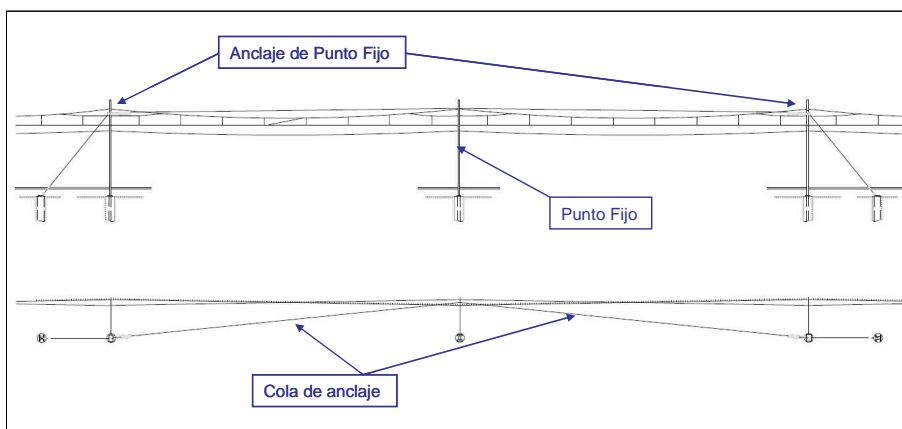


Figura 11.9. Esquema de un Punto fijo y de una cola de anclaje.

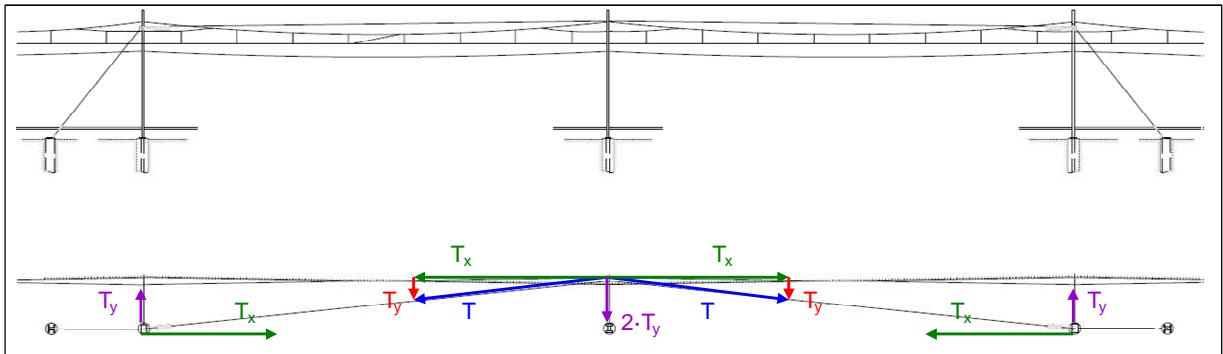


Figura 11.10. Tensión de la cola de anclaje en el punto fijo.

En la figura 11.11 se observa la descomposición de la tensión de la cola de anclaje con respecto al anclaje del punto fijo.

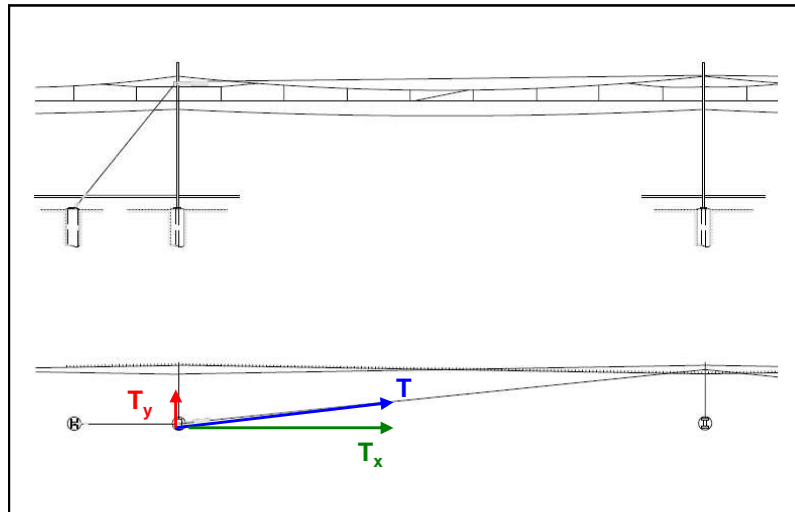


Figura 11.11. Tensión de la cola de anclaje en el anclaje del punto fijo

La componente de la tensión de la cola de anclaje que se tiene en cuenta para calcular el momento de vuelco sobre el poste es la perpendicular al eje de vía, T_y , ya que la componente paralela a la vía, T_x , es absorbida por la cimentación. La cola de anclaje está sujeta a la cimentación mediante un tirante, el cual será el encargado de transmitir la componente T_x a la cimentación.

La componente perpendicular al eje de vía, T_y , producirá un esfuerzo:

$$T_y = T \cdot \sin \alpha \quad (\text{Ec. 11.61})$$

Siendo:

- T = Tensión de la Cola de Anclaje
- α = Angulo formado por la Cola de Anclaje y el eje de vía.



$$\alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right]; D_y = \text{distancia del poste al eje de la vía}$$

11.3.4.1 Esfuerzo generado por el Viento y el Peso

Se trata de un hilo de Cobre (Cu) de 100 mm². Según la tabla 11.6, el valor de la presión del viento en kgf fuerza por metro lineal de hilo es:

$$Rv_{CA} = Rv_{sust} = 0,90 \text{ kgf/m}$$

$$a = 64 \text{ m}$$

$$Fv_{CA} = Fv_{sust} = Rv_{sust} \cdot a_{recta} = 0,90 \text{ kgf/m} \cdot 64 \text{ m} = 57,60 \text{ kgf}$$

$$m_{CA} = m_{sust} = 0,89 \text{ kgf/m}$$

$$P_{CA} = P_{sust} = m_{sust} \cdot a_{recta} = 0,89 \text{ kgf/m} \cdot 64 \text{ m} = 56,96 \text{ kgf}$$

11.3.4.2 Tensión de Anclaje

$$T_{CA} = T_{sust} = 1575 \text{ kgf}$$

$$\alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]$$

Por lo tanto:

$$Ty_{CA} = T_{CA} \cdot \text{sen} \alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \text{sen}\left(\arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]\right) = 84,78 \text{ kgf}$$

11.3.4.3 Tensión de Anclaje en Curva

Para Curvas de R = 5000 m:

$$a = 64 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]$$

$$Ty_{CA} = T_{CA} \cdot \text{sen} \alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \text{sen}\left(\arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{64 \text{ m}}\right]\right) = 84,78 \text{ kgf}$$

Para Curvas de R = 1200 m:

$$a = 45 \text{ m} \rightarrow \alpha = \arctg\left[\frac{D_y}{Vano}\right] = \arctg\left[\frac{3,45 \text{ m}}{45 \text{ m}}\right]$$



$$T_{y_{CA}} = T_{CA} \cdot \operatorname{sen} \alpha = 1575 \text{ kgf} \cdot \operatorname{sen} \left(\arctg \left[\frac{3,45 \text{ m}}{45 \text{ m}} \right] \right) = 120,40 \text{ kgf}$$

11.3.4.4 Cálculo del momento de vuelco para la Cola de Anclaje

Dependiendo del tipo de poste respecto del cual se calcule el momento de vuelco, existen dos situaciones diferentes:

A) Para el Anclaje del Punto Fijo

Se considera el caso más desfavorable aquel en el que el Anclaje del Punto Fijo vuelque hacia la vía, considerando este sentido de giro como positivo.

Para el caso en recta:

$$M_{tot_{CA}} = \frac{1}{2} \cdot M_{v_{CA}} + \frac{1}{2} \cdot M_{p_{CA}} + M_{a_{CA}} \quad (\text{Ec. 11.62})$$

$M_{v_{CA}} = F_{v_{CA}} \cdot dy_{CA}$ = Momento generado por el viento

$M_{p_{CA}} = P_{CA} \cdot dx_{CA}$ = Momento generado por el peso de la cola de anclaje

$M_{a_{CA}} = F_{a_{CA}} \cdot dy_{CA}$ = Momento generado por el esfuerzo de atirantado en la cola de anclaje

Para la cola de anclaje, tenemos:

$dy_{CA} = 7,75 \text{ m}$

$dx_{CA} = 0 \text{ m}$, la cola de anclaje se fija directamente sobre el anclaje del punto fijo

Por lo tanto:

$$M_{p_{CA}} = P_{CA} \cdot dx_{CA} = 0$$

$$M_{tot_{CA}} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 880,24 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de $R = 5000 \text{ m}$:

$$M_{tot_{CA}} = (84,78 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 880,24 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de $R = 1200 \text{ m}$:

$$M_{tot_{CA}} = (120,40 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 1156,27 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

B) Para el Punto Fijo

En este caso, el peso de la cola de anclaje si genera un momento con respecto al punto fijo. Al ser el momento generado por el atirantado de la cola de anclaje superior al producido por el peso del cable, se



considerara como caso más desfavorable aquel en el que el punto fijo vuelque hacia el exterior de la vía, considerando este sentido de giro como positivo.

Para el caso en recta:

$$M_{tot_{CA}} = M_{v_{CA}} - M_{p_{CA}} + 2 \cdot M_{a_{CA}} \quad (Ec. 11.63)$$

$$dy_{CA} = 7,75 \text{ m}$$

$$dx_{CA} = 3,20 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$M_{tot_{CA}} = (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) - (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + 2 \cdot (84,78 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 1583,53 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 5000 m:

$$M_{tot_{CA}} = (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) - (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + 2 \cdot (84,78 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 1583,53 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Para el caso en curva de R = 1200 m:

$$M_{tot_{CA}} = (57,60 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) - (56,96 \text{ kgf} \cdot 3,20 \text{ m}) + 2 \cdot (120,40 \text{ kgf} \cdot 7,75 \text{ m}) = 2135,60 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

11.4 RESULTADOS: MOMENTOS TRANSMITIDOS EN LA BASE DE LOS POSTES

A continuación se muestra una tabla resumen, Tabla 11.7, en la que se especifican todos los datos geométricos y mecánicos de los diferentes cables que conforman la catenaria que han sido calculados en el presente capítulo.



Tabla 11.7. Tabla Resumen Momentos transmitidos en la base de los postes

DATOS CONDUCTORES								
	Sust a 1.4	Sust a 1.8	Sust a 2.2	Sust a 2.5	H.C.	An Sust.	An Sust. Semiejes	An H.C.
	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²	Cu 150 mm ²	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²	Cu 150 mm ²
Vano de cálculo general (m)	64	64	64	64	64	64	64	64
Vano de cálculo reducido (m)	45	45	45	45	45	45	45	45
Tensión (kgf)	1575	1575	1575	1575	3150	1575	1575	3150
Peso (kgf/m)	0,89	0,89	0,89	0,89	1,335	0,89	0,89	1,335
Descentramiento (m)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Diámetro (mm)	12,95	12,95	12,95	12,95	14,5	12,95	12,95	14,5
Reynolds	33.202	33.202	33.202	33.202	37.176	33.202	33.202	37.176
Cd	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Resistencia calculada (kgf/m)	0,81	0,81	0,81	0,81	0,90	0,81	0,81	0,90
Resistencia viento tabulada (kgf/m)	0,90	0,90	0,90	0,90	1,06	0,90	0,90	1,06
Viento (kgf)	57,60	57,60	57,60	57,60	67,71	28,80	28,80	33,86
Esfuerzo curva 5000 m (kgf)	20,16	20,16	20,16	20,16	40,32	84,78	84,78	157,30
Esfuerzo curva 1200 m (kgf)	59,05	59,05	59,05	59,05	118,11	111,72	111,72	240,79
Esfuerzo de Atirantado (kgf)	19,69	19,69	19,69	19,69	39,38	84,78	84,78	157,30
d horizontal al eje (m)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	0,00	3,20	0,00
d vertical al eje (m)	7,55	7,95	8,35	8,65	6,15	8,90	8,90	8,00
Momento del peso (kgfm)	182,27	182,27	182,27	182,27	273,41	0,00	91,14	0,00
Momento total en recta (kgfm)	765,79	796,71	827,62	850,81	931,99	1.010,86	919,72	1.529,28
Momento total en curva 5000 m (kgfm)	917,99	956,97	995,95	1.025,19	1.179,95	1.010,86	919,72	1.529,28
Momento total en curva 1200 m (kgfm)	1.211,64	1.266,18	1.320,71	1.361,61	1.658,34	1.250,61	1159,47	2.197,19
Esfuerzo cortante recta (kgf)	77,29	77,29	77,29	77,29	107,09	113,58	113,58	191,16
Esfuerzo cortante curva 5000 (kgf)	97,45	97,45	97,45	97,45	147,41	198,36	198,36	348,46
Esfuerzo cortante curva 1200 (kgf)	136,34	136,34	136,34	136,34	225,19	225,30	225,30	431,95



DATOS CONDUCTORES

	An H.C. Semiejes	Retorno(hacia fuera)	Retorno(hacia dentro)	F - (hacia fuera)	F - (hacia dentro)	F +(hacia fuera)	F + (hacia dentro)	Cola anclaje Anclaje PF	Cola anclaje PF sust.
	Cu 150 mm ²	LA110	LA110	LA380	LA380	LA280	LA280	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²
Vano de cálculo general (m)	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Vano de cálculo reducido (m)	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Tensión (kgf)	3150	1100	1100	2700	2700	2200	2200	1575	1575
Peso (kgf/m)	1,335	0,43	0,43	1,28	1,28	0,98	0,98	0,864	0,864
Descentramiento (m)	0,2							0,2	0,2
Diámetro (mm)	14,5	14	14	25,38	25,38	21,8	21,8	12,95	12,95
Reynolds	37.176	35.894	35.894	65.070	65.070	55.892	55.892	33.202	33.202
Cd	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Resistencia calculada (kgf/m)	0,90	0,87	0,87	1,58	1,58	1,36	1,36	0,81	0,81
Resistencia viento tabulada (kgf/m)	1,06	0,84	0,84	1,27	1,27	1,09	1,09	0,90	0,90

Viento (kgf)	33,86	53,76	53,76	81,28	81,28	69,76	69,76	57,60	57,60
Esfuerzo curva 5000 m (kgf)	157,30	14,08	14,08	34,56	34,56	28,16	28,16	169,56	169,56
Esfuerzo curva 1200 m (kgf)	240,79	41,25	41,25	101,25	101,25	82,50	82,50	240,79	240,79
Esfuerzo de Atirantado (kgf)	157,30							169,56	169,56
d horizontal al eje (m)	3,20	0,24	0,24	1,30	1,30	1,30	1,30	3,20	3,20
d vertical al eje (m)	8,00	6,35	6,35	9,15	9,15	9,15	9,15	7,75	7,75
Momento del peso (kgfm)	136,70	6,60	-6,60	106,50	-106,50	-81,54	81,54	-176,95	-176,95
Momento total en recta (kgfm)	1392,57	347,98	334,77	850,21	637,22	556,77	719,84	880,24	1.583,53
Momento total en curva 5000 m (kgfm)	1392,57	437,39	424,18	1.166,43	953,44	814,43	977,50	880,24	1.583,53
Momento total en curva 1200 m (kgfm)	2060,49	609,92	596,71	1.776,65	1.563,65	1.311,64	1.474,72	1156,27	2.135,60
Esfuerzo cortante recta (kgf)	191,16	53,76	53,76	81,28	81,28	69,76	69,76	169,56	169,56
Esfuerzo cortante curva 5000 (kgf)	348,46	67,84	67,84	115,84	115,84	97,92	97,92	169,56	169,56
Esfuerzo cortante curva 1200 (kgf)	431,95	95,01	95,01	182,53	182,53	152,26	152,26	240,79	240,79



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

12. MOMENTO DE VUELCO SOBRE
LOS POSTES

CAPÍTULO 12

MOMENTO DE VUELCO SOBRE LOS POSTES



12 MOMENTOS DE VUELCO SOBRE LOS POSTES

En el capítulo anterior se calculó el momento de vuelco que cada tipo de conductor generaba de forma individual sobre los postes que lo sustentan. En este capítulo se deduce, en función del tipo de poste, el momento de vuelco total que va a generarse en el poste, considerando la suma de todos los momentos individuales que generan los cables que soporta.

Se hace la distinción ya comentada de esfuerzos sobre recta, curva de 5000 m y curva de 1200 m. Asimismo, y en previsión de las distintas formas de disposición de conductores, se calculan los citados momentos de vuelco con tres disposiciones de alimentación distintas:

- Catenaria sin *feeder*
- Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380
- Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo).

No se ha considerado el viento sobre la superficie del poste, que sí se tiene en cuenta al considerar la resistencia de los postes, como se verá en el capítulo 13.

A la hora de calcular los momentos de vuelco sobre la base de los postes habrá que posicionarse en la situación más desfavorable.

Los diferentes tipos de poste que se pueden encontrar a lo largo del trazado son:

- Poste tipo.
- Punto Fijo.
- Anclaje de Punto fijo.
- Anclaje de Seccionamiento.
- Eje de Seccionamiento.
- Semieje.
- Poste con tres ménsulas (en agujas aéreas).
- Anclaje de Seccionamiento con tres ménsulas.

12.1 POSTE TIPO

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Hilo de contacto
- Cable de retorno

➤ *Feeder –*

Como ya se comentó en el capítulo 11, para el cálculo del momento de vuelco en el poste, hay que situarse en el caso más desfavorable que puede darse, que en este caso es aquel que hace que el poste vuelque hacia el lado de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía, como puede observarse en la figura 12.1. En esta figura quedan representadas todas las fuerzas que van a generar el momento total de vuelco del poste con respecto a su base. De este modo:

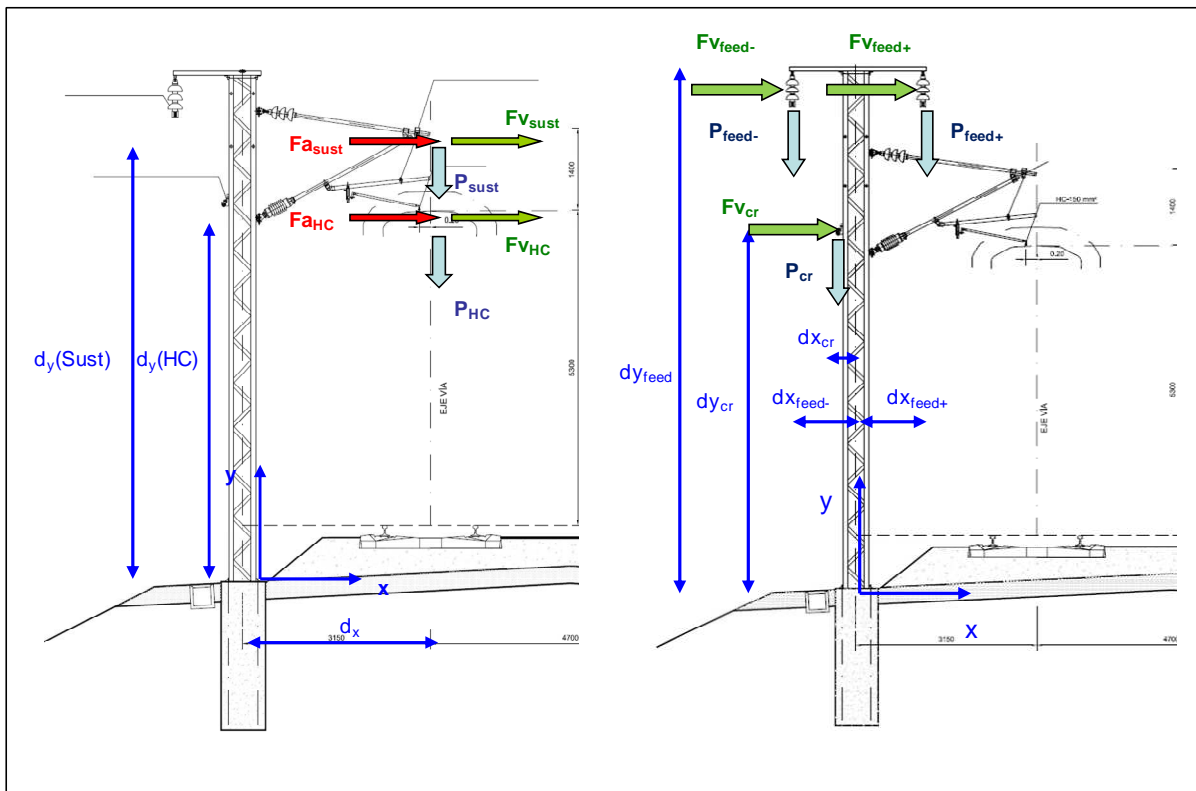


Figura 12.1. Esquema de fuerzas en un poste tipo.

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} \quad (Ec. 12.1)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} + Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} - Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} - Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el poste queda reflejado en la Tabla 12.1.:

Tabla 12.1. Resultados Momento de Vuelco en un poste tipo.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Sust} [kgf·m]	765,79	917,99	1211,64
M_{HC} [kgf·m]	931,99	1179,95	1658,34
M_{Feed-} [kgf·m]	637,22	953,44	1563,65
M_{CR} [kgf·m]	334,77	424,18	596,71
M_{Total} [kgf·m]	2669,77	3475,56	5030,34

En el caso de la Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y un *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), hay que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.2).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{FEED+} \quad (Ec. 12.2)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = M_{v_{Feed+}} + M_{p_{Feed+}} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf·m]}$$

Tabla 12.2. Resultados Momento de Vuelco en un poste tipo con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	719,84	977,50	1474,72
M_{Total} [kgf·m]	4124,91	5188,37	7792,43

12.2 PUNTO FIJO

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Hilo de contacto
- Cable de retorno
- *Feeder* –
- Cola de sustentador

El caso más desfavorable para calcular el momento de vuelco en el punto fijo es aquel en el que el poste vuelca hacia fuera de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con atirantado hacia fuera y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde dentro hacia fuera de la vía, como puede observarse en las figuras 12.2 y 12.3. En esta figura quedan

representadas todas las fuerzas que van a generar el momento de vuelco total sobre el poste, con respecto a su base.

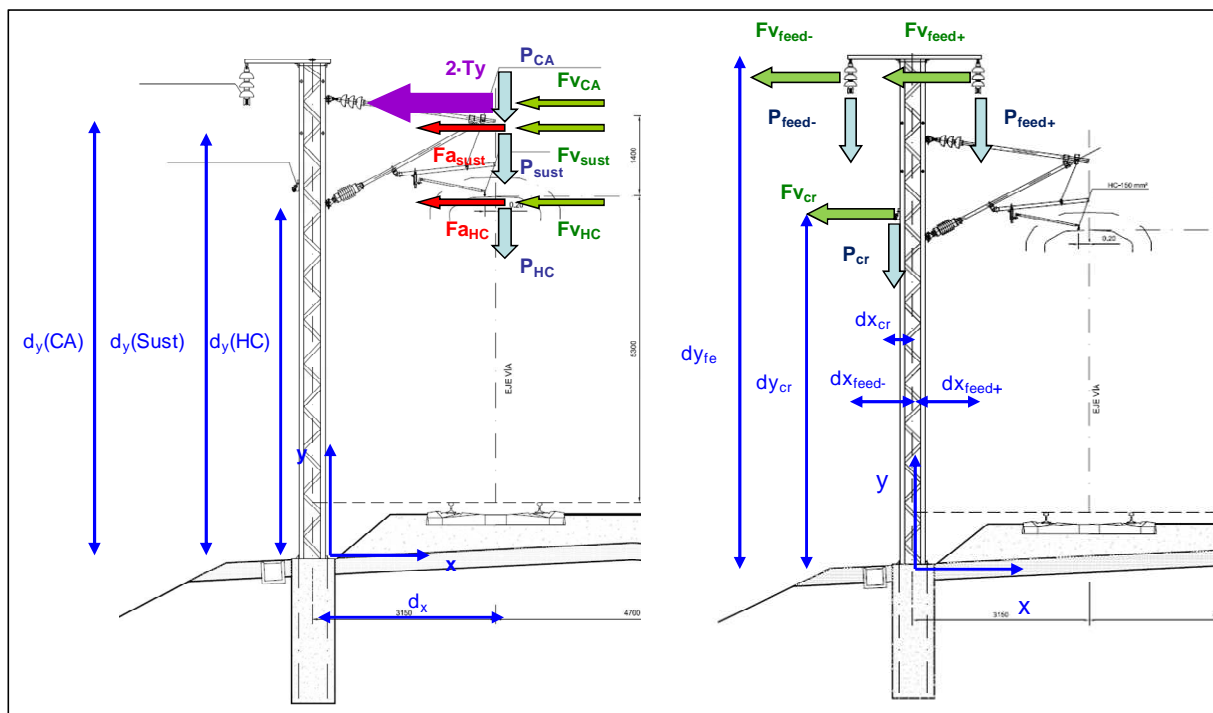


Figura 12.2. Esquema de Fuerzas en un Punto Fijo

En la figura 12.3 se puede apreciar la descomposición de la tensión de atirantado de la cola de anclaje en el punto fijo.

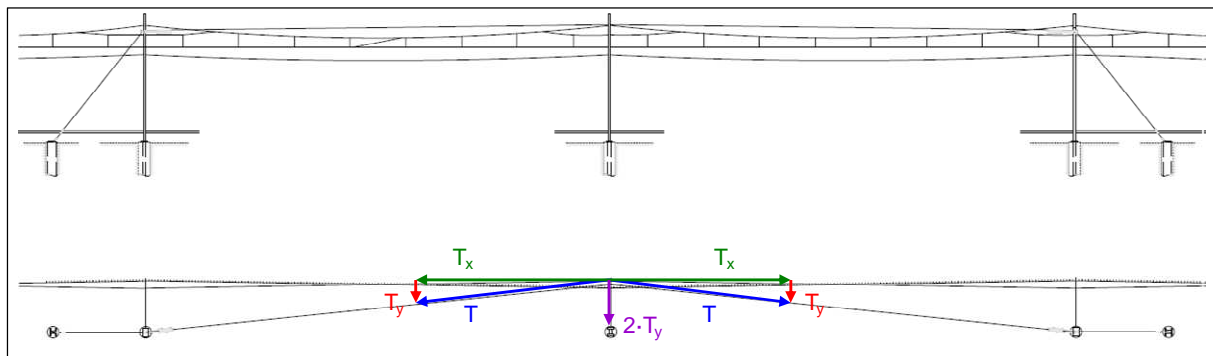


Figura 12.3. Descomposición tensión de atirantado en el punto fijo

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{CA} \quad (Ec. 12.3)$$

$$M_{SUST} = M_{v_{sust}} - M_{p_{sust}} + M_{a_{sust}} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = M_{v_{HC}} - M_{p_{HC}} + M_{a_{HC}} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$



$$M_{Feed-} = M_{v_{Feed-}} + M_{p_{Feed-}}$$

Momento total generado por el *feeder* - [kgf·m]

$$M_{CR} = M_{v_{CR}} + M_{p_{CR}}$$

Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]

$$M_{CA} = M_{v_{CA}} - M_{p_{CA}} + 2 \cdot M_{a_{CA}}$$

Momento total generado por la cola de anclaje [kgf·m]

Por lo tanto, el momento total sobre el punto fijo queda reflejado en la Tabla 12.3.:

Tabla 12.3. Resultados Momento de Vuelco en un punto fijo.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Sust} [kgf·m]	401,25	553,45	847,10
M_{HC} [kgf·m]	385,18	633,14	1111,52
M_{Feed-} [kgf·m]	850,21	1166,43	1776,65
M_{CR} [kgf·m]	347,98	437,39	609,92
$2 \cdot M_{CA}$ [kgf·m]	1583,53	1583,53	2135,60
M_{Total} [kgf·m]	3568,15	4373,94	6480,79

En el caso de Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habria que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.4).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{CA} + M_{Feed+} \quad (Ec. 12.4)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = M_{v_{Feed+}} - M_{p_{Feed+}}$$

Momento total generado por el *feeder* + [kgf·m]

Tabla 12.4. Resultados Momento de Vuelco en un punto fijo con *feeder* de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	556,77	814,43	1311,64
M_{Total} [kgf·m]	4124,91	5188,37	7792,43

12.3 ANCLAJE DE PUNTO FIJO

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Hilo de contacto
- Cable de retorno
- *Feeder* -

➤ Cola de sustentador

En la figura 12.4 se puede apreciar la descomposición de la tensión de atirantado de la cola de anclaje en el anclaje de punto fijo.

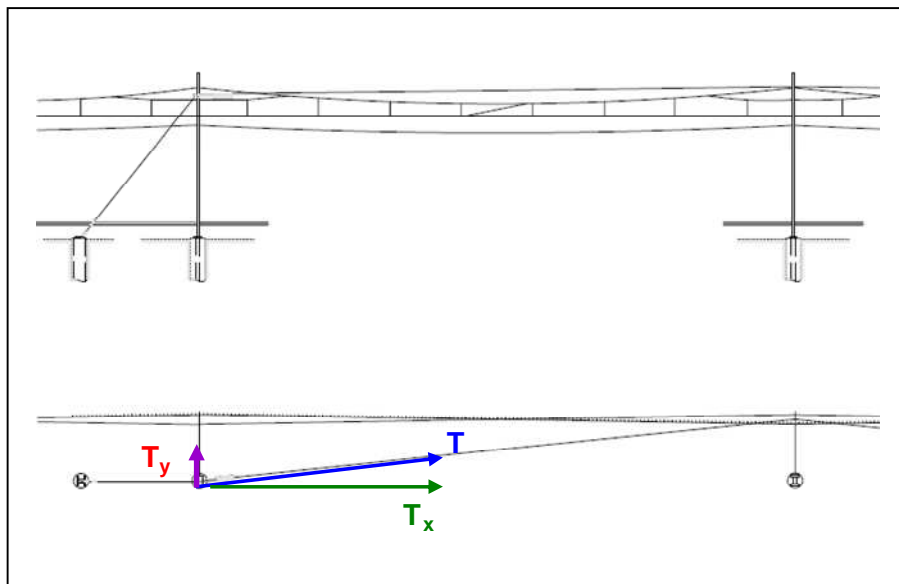


Figura 12.4. Descomposición de la tensión de atirantado de la cola de anclaje en el anclaje de punto fijo

El caso más desfavorable para calcular el momento de vuelco en el anclaje de punto fijo es aquel en el que el poste vuelca hacia dentro de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía, como puede observarse en la figura 12.5.

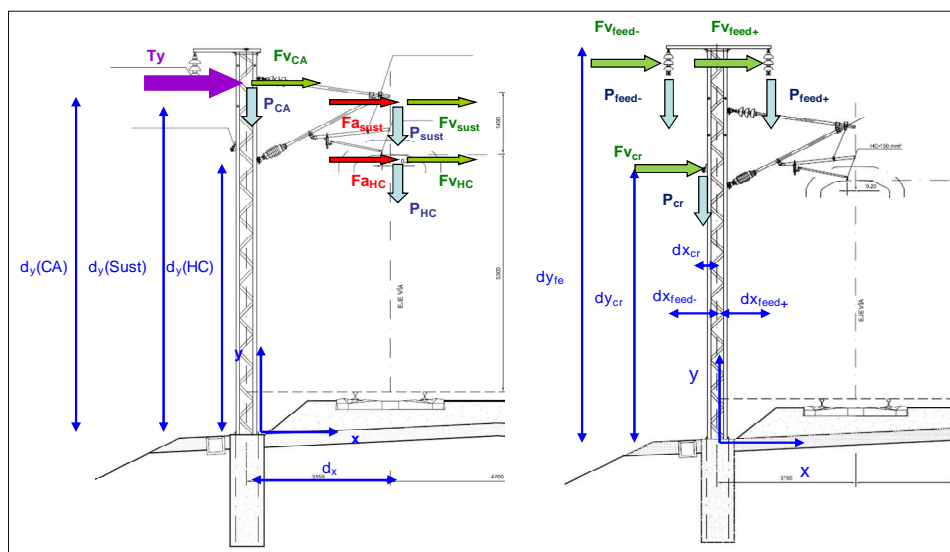


Figura 12.5. Esquema de fuerzas en un anclaje de punto fijo



$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{CA} \quad (Ec. 12.5)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} + Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} - Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} - Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

El peso de la cola de anclaje no va a generar ningún momento con respecto al poste, por tanto:

$$M_{CA} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{CA} + Ma_{CA} \quad \text{Momento total generado por la cola de anclaje [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el anclaje de punto fijo queda reflejado en la Tabla 12.5.:

Tabla 12.5. Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de punto fijo.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M _{Sust} [kgf·m]	765,79	917,90	1211,64
M _{HC} [kgf·m]	931,99	1179,95	1658,34
M _{Feed-} [kgf·m]	637,22	953,44	1563,65
M _{CR} [kgf·m]	334,77	424,18	596,71
M _{CA} [kgf·m]	880,24	880,24	1156,27
M_{Total} [kgf·m]	3550,01	4335,80	6186,62

En el caso de la Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y con un *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.6).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{CA} + M_{Feed+} \quad (Ec. 12.6)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = Mv_{Feed+} + Mp_{Feed+} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf·m]}$$

Tabla 12.6. Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de punto fijo con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M _{Feed+} [kgf·m]	719,84	977,50	1474,72
M_{Total} [kgf·m]	4269,85	5333,31	7661,33

12.4 ANCLAJE DE SECCIONAMIENTO

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Hilo de contacto
- Cable de retorno
- Feeder –
- Anclaje de sustentador
- Anclaje de hilo de contacto

En la figura 12.6 queda representada la tensión a la que están sometidos los anclajes del sustentador y del hilo de contacto mediante T . Como se comentó en el capítulo 11, solo se tendrá en cuenta la componente T_y , ya que T_x es absorbida por la cimentación a la que está anclada el tirante. Por tanto, puede apreciarse como dicho atirantado ejercerá un momento de vuelco hacia el lado de la vía.

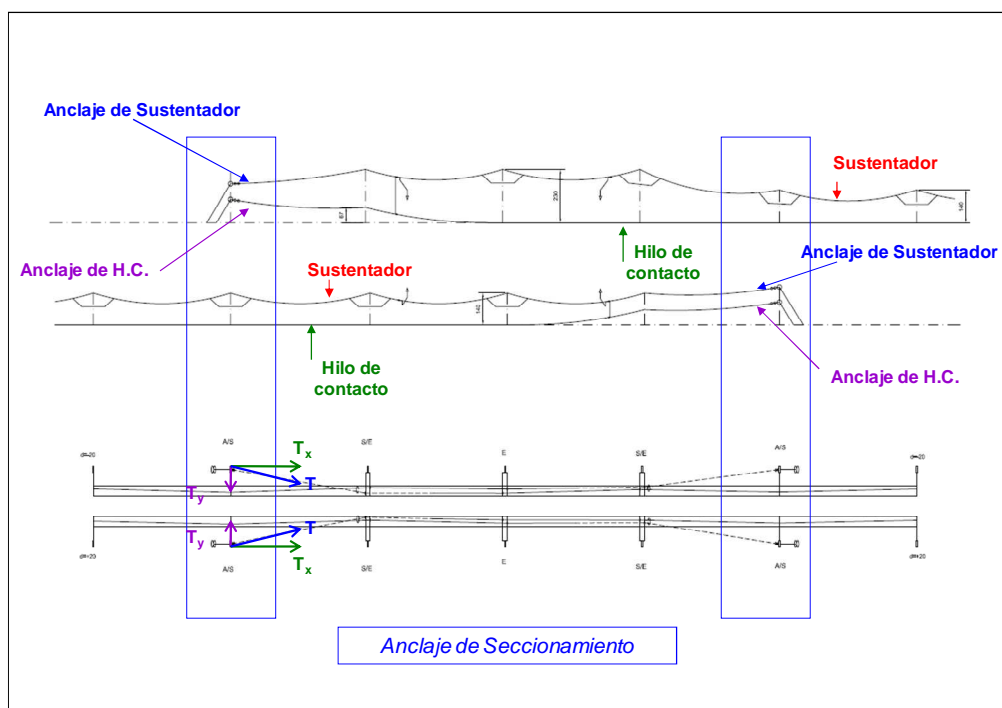


Figura 12.6. Descomposición de tensiones en los anclajes de sustentador y de hilo de contacto

Se considera como caso más desfavorable aquel en el que el poste vuelca hacia dentro de la vía, teniendo en cuenta que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía, como puede observarse en la figura 12.7.

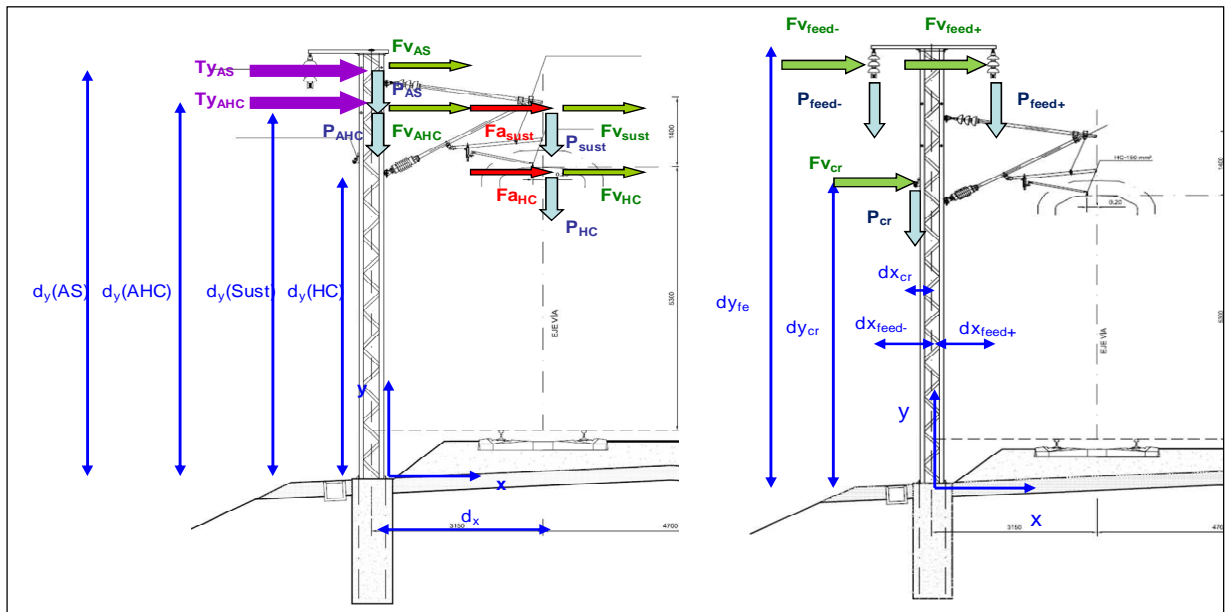


Figura 12.7. Esquema de fuerzas en un anclaje de seccionamiento

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{AS} + M_{AHC} \quad (Ec. 12.7)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} + Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} - Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} - Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

En el caso de los anclajes del sustentador y del hilo de contacto, el peso de los anclajes no va a generar ningún momento con respecto al poste. Por tanto:

$$M_{AS} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{AS} + Ma_{AS} \quad \text{Momento total generado por el anclaje del sustentador. [kgf·m]}$$

$$M_{AHC} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{AHC} + Ma_{AHC} \quad \text{Momento total generado por el anclaje del hilo de contacto [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el anclaje del seccionamiento queda reflejado en la Tabla 12.7.:

Tabla 12.7. Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de seccionamiento.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M _{Sust} [kgf·m]	765,79	917,90	1211,64
M _{HC} [kgf·m]	931,99	1179,95	1658,34



	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed-} [kgf·m]	637,22	953,44	1563,65
M_{CR} [kgf·m]	334,77	424,18	596,71
M_{AS} [kgf·m]	1010,86	1010,86	1250,61
M_{AHC} [kgf·m]	1529,28	1529,28	2197,19
M_{Total} [kgf·m]	5209,90	6015,70	8478,15

En el caso de Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y con u *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.8).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{AS} + M_{AHC} + M_{Feed+} \quad (Ec. 12.8)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = Mv_{Feed+} + Mp_{Feed+} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf·m]}$$

Tabla 12.8. Resultados Momento de Vuelco en un anclaje de seccionamiento con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	719,84	977,50	1474,72
M_{Total} [kgf·m]	5929,74	6993,20	9952,86

12.5 EJE DE SECCIONAMIENTO

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Sustentador a 2,5 m.
- Hilo de contacto
- Cable de retorno
- *Feeder* –

El caso más desfavorable es aquel en el que el poste vuelca hacia el lado de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía.

Como puede observarse en la figura 12.8, en el eje de seccionamiento coinciden dos sustentadores, uno a 1,4 m del hilo de contacto y otro a 2,5 m del hilo de contacto, y dos hilos de contacto, situados a la misma altura.

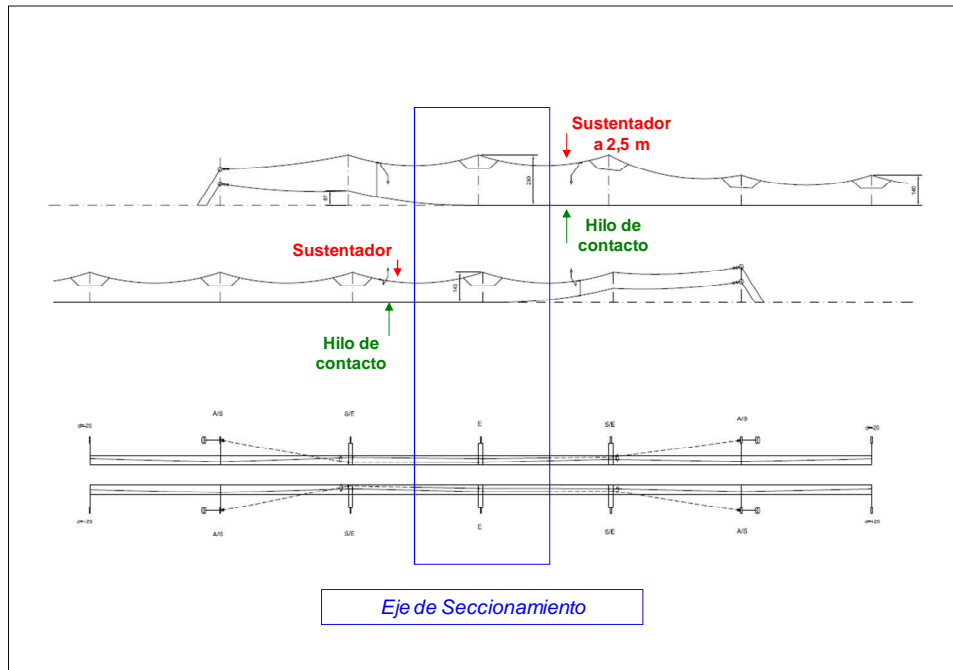


Figura 12.8. Cables que sustenta el eje de seccionamiento

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{SUST2,5} + 2 \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} \quad (Ec. 12.9)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{SUST2,5} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador a 2,5 m. [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} + Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} - Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} - Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el eje del seccionamiento queda reflejado en la Tabla 12.9.:

Tabla 12.9. Resultados Momento de Vuelco en un eje de seccionamiento.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Sust} [kgf·m]	765,79	917,99	1211,64
$M_{Sust2,5}$ [kgf·m]	850,81	1025,19	1361,61
$2 \cdot M_{HC}$ [kgf·m]	1863,99	2359,90	3316,68
M_{Feed-} [kgf·m]	637,22	953,44	1563,65
M_{CR} [kgf·m]	334,77	424,18	596,71
M_{Total} [kgf·m]	4452,57	5680,70	8050,30



En el caso de Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.10).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{SUST2,5} + 2 \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{FEED+} \quad (Ec. 12.10)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = M_{v_{Feed+}} + M_{p_{Feed+}} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf·m]}$$

Tabla 12.10. Resultados Momento de Vuelco en un eje seccionamiento con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	719,84	977,50	1474,72
M_{Total} [kgf·m]	5172,41	6658,21	9525,01

12.6 SEMIEJE DEL SECCIONAMIENTO

Los cables que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Hilo de contacto
- Sustentador a 2,5
- Cable de retorno
- *Feeder* –
- Cola de sustentador
- Cola de hilo de contacto

En la figura 12.9 queda representada la tensión a la que están sometidos los anclajes del sustentador y del hilo de contacto mediante T . Como se vio en el capítulo 11, solo se tiene en cuenta la componente T_y , apreciándose como dicho atirantado ejercerá un momento de vuelco hacia fuera de la vía.

El caso más desfavorable en el semieje del seccionamiento es aquel en el que el poste vuelque hacia fuera de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia fuera y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde dentro hacia fuera de la vía, como puede observarse en la figura anterior. En la figura 12.10 quedan representadas todas las fuerzas que van a generar el momento de vuelco del poste con respecto a su base.

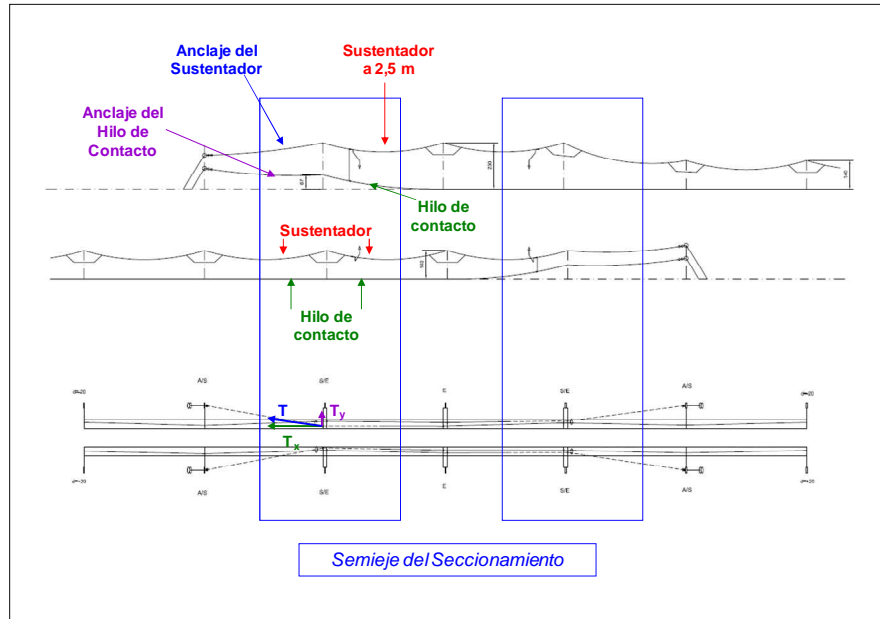


Figura 12.9. Tensión de los anclajes de sustentador y de hilo de contacto sobre el semieje de seccionamiento

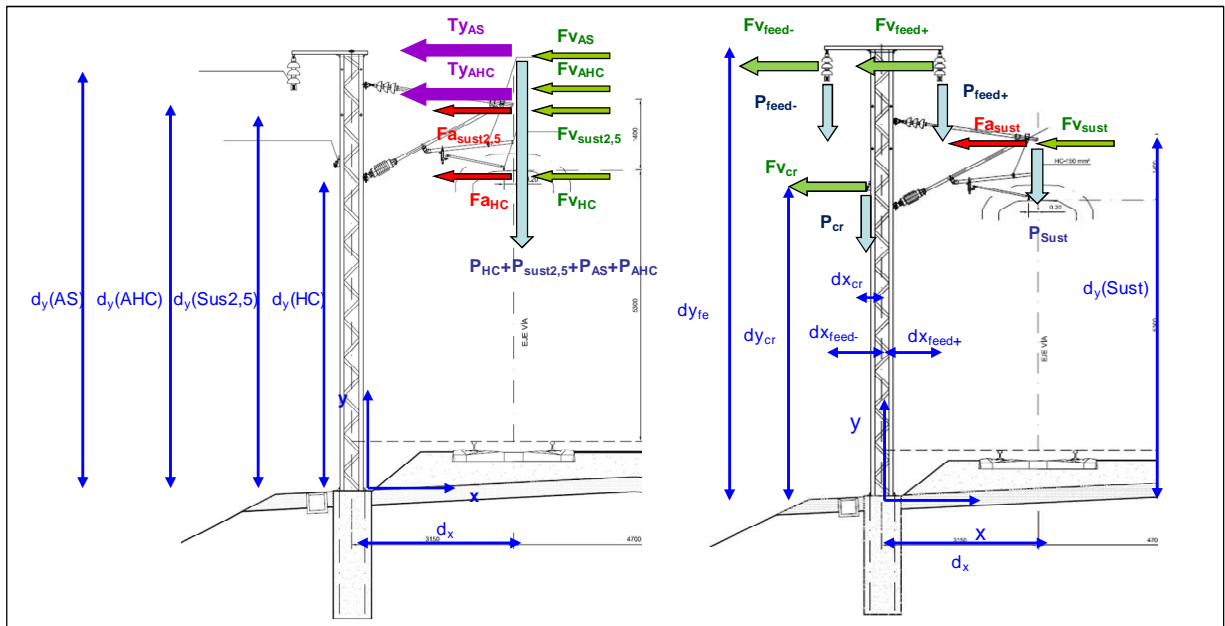


Figura 12.10. Fuerzas que actúan en el semieje de seccionamiento

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + \frac{1}{2} \cdot M_{SUST2,5} + \frac{3}{2} \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{AS} + M_{AHC} \quad (Ec. 12.11)$$

$$M_{SUST} = M_{v_{sust}} - M_{p_{sust}} + M_{a_{sust}} \quad \text{Momento total generado por el cable sustentador [kgf·m]}$$

$$M_{SUST2,5} = M_{v_{sust2,5}} - M_{p_{sust2,5}} + M_{a_{sust2,5}} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 2,5 [kgf·m]}$$



$$M_{HC} = Mv_{HC} - Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} + Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} + Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

$$M_{AS} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{AS} + Ma_{AS} - \frac{1}{2} \cdot Mp_{AS} \quad \text{Momento total generado por el anclaje del sustentador. [kgf·m]}$$

$$M_{AHC} = \frac{1}{2} \cdot Mv_{AHC} + Ma_{AHC} - \frac{1}{2} \cdot Mp_{AHC} \quad \text{Momento total generado por el anclaje del hilo de contacto [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el semieje del seccionamiento queda reflejado en la Tabla 12.11:

Tabla 12.11. Resultados Momento de Vuelco en un semieje de seccionamiento.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Sust} [kgf·m]	401,25	553,45	847,10
$0,5 \cdot M_{Sust2,5}$ [kgf·m]	243,13	330,32	498,54
$1,5 \cdot M_{HC}$ [kgf·m]	577,77	949,70	1667,29
M_{Feed-} [kgf·m]	850,21	1166,43	1776,65
M_{CR} [kgf·m]	347,98	437,39	609,92
M_{AS} [kgf·m]	919,72	919,72	1159,47
M_{AHC} [kgf·m]	1392,57	1392,57	2060,49
M_{Total} [kgf·m]	4732,63	5749,59	8619,45

En el caso de Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.12).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + \frac{1}{2} \cdot M_{SUST2,5} + \frac{3}{2} \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{AS} + M_{AHC} + M_{FEED+} \quad (\text{Ec. 12.12})$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = Mv_{Feed+} - Mp_{Feed+} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf·m]}$$

Tabla 12.12. Resultados Momento de Vuelco en un semieje de seccionamiento con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	556,77	814,43	1311,64
M_{Total} [kgf·m]	5289,39	6564,02	9931,09



12.7 POSTE CON TRES MÉNSULAS (EN AGUJAS AÉREAS)

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Sustentador a 1,8
- Sustentador a 2,2
- Hilo de contacto
- Cable de retorno
- Feeder –

La situación más desfavorable para el cálculo del momento de vuelco es aquella en la que el poste vuelque hacia el lado de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía, del mismo modo que sucedía en el poste tipo con una solo ménsula, salvo que ahora habrá tres sustentadores y tres hilos de contacto. Por tato:

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{SUST1,8} + M_{SUST2,2} + 3 \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} \quad (Ec. 12.13)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} + Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 1,4m [kgf·m]}$$

$$M_{SUST1,8} = Mv_{sust1,8} + Mp_{sust1,8} + Ma_{sust1,8} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 1,8m [kgf·m]}$$

$$M_{SUST2,2} = Mv_{sust2,2} + Mp_{sust2,2} + Ma_{sust2,2} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 2,2m [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} + Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} - Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} - Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el poste queda reflejado en la Tabla 12.13:

Tabla 12.13. Resultados Momento de Vuelco en un poste con tres ménsulas.

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Sust} [kgf·m]	765,79	917,99	1211,64
$M_{Sust1,8}$ [kgf·m]	796,71	956,97	1266,18
$M_{Sust2,2}$ [kgf·m]	827,62	995,95	1320,71
$3 \cdot M_{HC}$ [kgf·m]	2795,98	3539,85	4975,02
M_{Feed-} [kgf·m]	637,22	953,44	1563,65



	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{CR} [kgf·m]	334,77	424,18	596,71
M_{Total} [kgf·m]	6158,09	7788,39	10933,91

En el caso de la Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y con un *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.14).

$$M_{TOTAL} = M_{SUST} + M_{SUST1,8} + M_{SUST2,2} + 3 \cdot M_{HC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{FEED+} \quad (Ec. 12.14)$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = Mv_{Feed+} + Mp_{Feed+} \quad \text{Momento total generado por el } feeder + \text{ [kgf·m]}$$

Tabla 12.14. Resultados Momento de Vuelco en un poste con tres ménsulas con *feeder* de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+} [kgf·m]	719,84	977,50	1474,72
M_{Total} [kgf·m]	6877,93	8765,90	12408,63

12.8 ANCLAJE DE SECCIONAMIENTO CON TRES MÉNSULAS.

Los conductores que van a ejercer momentos de vuelco sobre este tipo de poste son:

- Sustentador
- Sustentador a 1,8
- Sustentador a 2,2
- Hilo de contacto
- Cola de sustentador
- Cola de hilo de contacto
- Cable de retorno
- *Feeder* –

La situación más desfavorable para el cálculo del momento de vuelco es aquella en la que el poste vuelque hacia fuera de la vía. Para ello se considera que la fuerza que ejerce el viento sobre los cables y los esfuerzos generados por el atirantado sobre el poste, están en el mismo sentido. Este supuesto coincide con el caso de atirantado hacia dentro y viento soplando transversalmente al eje de la vía en sentido desde fuera hacia dentro de la vía.

En la figura 12.11 quedan reflejados los conductores que van a ser soportados por el anclaje de seccionamiento con tres ménsulas.

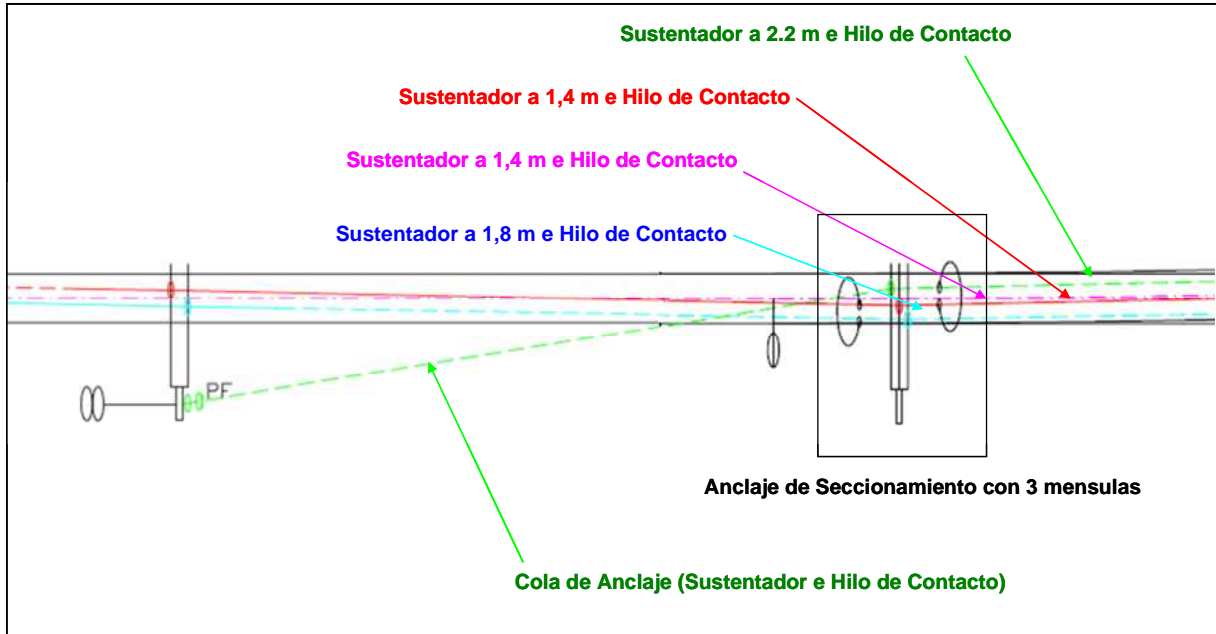


Figura 12.11. Cables que sustenta el anclaje de seccionamiento con tres ménsulas

$$M_{TOTAL} = 1,5 \cdot M_{SUST} + M_{SUST1,8} + M_{SUST2,2} + 3,5 \cdot M_{HC} + M_{AS} + M_{AHC} + M_{CR} + M_{FEED-} \quad (Ec. 12.15)$$

$$M_{SUST} = Mv_{sust} - Mp_{sust} + Ma_{sust} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 1,4m [kgf·m]}$$

$$M_{SUST1,8} = Mv_{sust1,8} - Mp_{sust1,8} + Ma_{sust1,8} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 1,8m [kgf·m]}$$

$$M_{SUST2,2} = Mv_{sust2,2} - Mp_{sust2,2} + Ma_{sust2,2} \quad \text{Momento total generado por el sustentador a 2,2m [kgf·m]}$$

$$M_{HC} = Mv_{HC} - Mp_{HC} + Ma_{HC} \quad \text{Momento total generado por el hilo de contacto [kgf·m]}$$

$$M_{AS} = Mv_{AS} - Mp_{AS} + Ma_{AS} \quad \text{Momento total generado por la cola del sustentador}$$

$$M_{AHC} = Mv_{AHC} - Mp_{AHC} + Ma_{AHC} \quad \text{Momento total generado por la cola del H.C. [kgf·m]}$$

$$M_{Feed-} = Mv_{Feed-} + Mp_{Feed-} \quad \text{Momento total generado por el feeder - [kgf·m]}$$

$$M_{CR} = Mv_{CR} + Mp_{CR} \quad \text{Momento total generado por el cable de retorno [kgf·m]}$$

Por lo tanto, el momento total sobre el poste queda reflejado en la Tabla 12.15:



Tabla 12.15. Resultados Momento de Vuelco en un A.S. con tres ménsulas

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
$1,5 \cdot M_{Sust} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	601,87	830,18	1270,64
$M_{Sust1,8} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	432,16	592,43	901,63
$M_{Sust2,2} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	463,08	631,41	956,17
$3,5 \cdot M_{HC} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	1348,12	2215,97	3890,34
$M_{AS} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	919,72	919,72	1159,47
$M_{AHC} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	1392,57	1392,57	2060,49
$M_{Feed-} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	850,21	1166,43	1776,65
$M_{CR} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	347,98	437,39	609,92
$M_{Total} \text{ [kgf}\cdot\text{m]}$	6355,71	8186,10	12625,31

En el caso de la Catenaria con un *feeder* negativo tipo LA-380 y con un *feeder* positivo tipo LA-280 (refuerzo), habría que incluir el momento que genera el *feeder* positivo de refuerzo (Tabla 12.16).

$$M_{TOTAL} = 1,5 \cdot M_{SUST} + M_{SUST1,8} + M_{SUST2,2} + 3,5 \cdot M_{HC} + M_{AS} + M_{AHC} + M_{CR} + M_{FEED-} + M_{FEED+}$$

Siendo:

$$M_{Feed+} = Mv_{Feed+} - Mp_{Feed+} \quad \text{Momento total generado por el feeder + [kgf}\cdot\text{m]}$$

Tabla 12.16. Resultados Momento de Vuelco en un A.S. con tres ménsulas con feeder de refuerzo (+).

	RECTA	CURVA R=5000 M	CURVA R=1200 M
M_{Feed+}	556,77 kgf·m	814,43 kgf·m	1311,64 kgf·m
M_{Total}	6912,48 kgf·m	9000,53 kgf·m	13936,95 kgf·m

En la Tabla 12.17 se muestra un resumen de los momentos de vuelco calculados para cada tipo de poste a lo largo del Capítulo.



Tabla 12.17. Resultados Momentos de Vuelco para cada tipo de poste.

MOMENTOS DE VUELCO (kgfm)																													
Alineación						Conductor						Sin F						F -						F - y +					
Recta	Recta	Sust	765,79	765,79	765,79	Curva 5000	Sust	917,99	917,99	917,99	Curva 1200	Sust	1.211,64	1.211,64	1.211,64														
		HC	931,99	931,99	931,99		HC	1.179,95	1.179,95	1.179,95		HC	1.658,34	1.658,34	1.658,34														
		Feeder	0	637,22	1.357,06		Feeder	0	953,44	1.930,94		Feeder	0	1.563,65	3.038,37														
		Retorno	334,77	334,77	334,77		Retorno	424,18	424,18	424,18		Retorno	596,71	596,71	596,71														
		TOTAL	2.032,56	2.669,77	3.389,61		TOTAL	2.522,12	3.475,56	4.453,07		TOTAL	3.466,69	5.030,34	6.505,06														
	Punto fijo	Sust	401,25	401,25	401,25	Punto fijo	Sust	553,45	553,45	553,45	Punto fijo	Sust	847,10	847,10	847,10														
		HC	385,18	385,18	385,18		HC	633,14	633,14	633,14		HC	1.111,52	1.111,52	1.111,52														
		Colas sust.	1.583,53	1.583,53	1.583,53		Colas sust.	1.583,53	1.583,53	1.583,53		Colas sust.	2.135,60	2.135,60	2.135,60														
		Retorno	347,98	347,98	347,98		Retorno	437,39	437,39	437,39		Retorno	609,92	609,92	609,92														
		Feeder	0,00	850,21	1.406,98		Feeder	0,00	1.166,43	1.980,86		Feeder	0,00	1.776,65	3.088,29														
		TOTAL	2.717,94	3.568,15	4.124,91		TOTAL	3.207,51	4.373,94	5.188,37		TOTAL	4.704,14	6.480,79	7.792,43														
	An P.F.	Sust	765,79	765,79	765,79	An P.F.	Sust	917,99	917,99	917,99	An P.F.	Sust	1.211,64	1.211,64	1.211,64														
		HC	931,99	931,99	931,99		HC	1.179,95	1.179,95	1.179,95		HC	1.658,34	1.658,34	1.658,34														
		Cola sust.	880,24	880,24	880,24		Cola sust.	880,24	880,24	880,24		Cola sust.	1.156,27	1.156,27	1.156,27														
		Retorno	334,77	334,77	334,77		Retorno	424,18	424,18	424,18		Retorno	596,71	596,71	596,71														
		Feeder	0,00	637,22	1.357,06		Feeder	0,00	953,44	1.930,94		Feeder	0,00	1.563,65	3.038,37														
		TOTAL	2.912,80	3.550,01	4.269,85		TOTAL	3.402,36	4.355,80	5.333,31		TOTAL	4.622,96	6.186,62	7.661,33														
	An Secc	Sust	765,79	765,79	765,79	An Secc	Sust	917,99	917,99	917,99	An Secc	Sust	1.211,64	1.211,64	1.211,64														
		HC	931,99	931,99	931,99		HC	1.179,95	1.179,95	1.179,95		HC	1.658,34	1.658,34	1.658,34														
		An Sust	1.010,86	1.010,86	1.010,86		An Sust	1.010,86	1.010,86	1.010,86		An Sust	1.250,61	1.250,61	1.250,61														
		An HC	1.529,28	1.529,28	1.529,28		An HC	1.529,28	1.529,28	1.529,28		An HC	2.197,19	2.197,19	2.197,19														
		Retorno	334,77	334,77	334,77		Retorno	424,18	424,18	424,18		Retorno	596,71	596,71	596,71														
		Feeder	0	637,22	1.357,06		Feeder	0	953,44	1.930,94		Feeder	0	1.563,65	3.038,37														
		TOTAL	4.572,69	5.209,90	5.929,74		TOTAL	5.062,26	6.015,70	6.993,20		TOTAL	6.914,49	8.478,15	9.952,86														



MOMENTOS DE VUELCO (kgfm)

Alineación						Alineación						Alineación					
Conductor						Conductor						Conductor					
Sin F						Sin F						Sin F					
F -						F -						F -					
F - y +						F - y +						F - y +					
Recta	Eje secc	Sust	765,79	765,79	765,79	Eje secc	Sust	917,99	917,99	917,99	Eje secc	Sust	1.211,64	1.211,64	1.211,64		
		Sust a 2.5	850,81	850,81	850,81		Sust a 2.5	1.025,19	1.025,19	1.025,19		Sust a 2.5	1.361,61	1.361,61	1.361,61		
		HC	1.863,99	1.863,99	1.863,99		HC	2.359,90	2.359,90	2.359,90		HC	3.316,68	3.316,68	3.316,68		
		Retorno	334,77	334,77	334,77		Retorno	424,18	424,18	424,18		Retorno	596,71	596,71	596,71		
		Feeder	0,00	637,22	1.357,06		Feeder	0,00	953,44	1.930,94		Feeder	0,00	1.563,65	3.038,37		
		TOTAL	3.815,36	4.452,57	5.172,41		TOTAL	4.727,26	5.680,70	6.658,21		TOTAL	6.486,64	8.050,30	9.525,01		
	Semieje	Sust	401,25	401,25	401,25	Semieje	Sust	553,45	553,45	553,45	Semieje	Sust	847,10	847,10	847,10		
		HC	577,77	577,77	577,77		HC	949,70	949,70	949,70		HC	1.667,29	1.667,29	1.667,29		
		Sust a 2.5	243,13	243,13	243,13		Sust a 2.5	330,32	330,32	330,32		Sust a 2.5	498,54	498,54	498,54		
		Cola sust	919,72	919,72	919,72		Cola sust	919,72	919,72	919,72		Cola sust	1.159,47	1.159,47	1.159,47		
		Cola HC	1.392,57	1.392,57	1.392,57		Cola HC	1.392,57	1.392,57	1.392,57		Cola HC	2.060,49	2.060,49	2.060,49		
		Retorno	347,98	347,98	347,98		Retorno	437,39	437,39	437,39		Retorno	609,92	609,92	609,92		
		Feeder	0,00	850,21	1.406,98		Feeder	0,00	1.166,43	1.980,86		Feeder	0,00	1.776,65	3.088,29		
		TOTAL	3.882,42	4.732,63	5.289,39		TOTAL	4.583,15	5.749,59	6.564,02		TOTAL	6.842,80	8.619,45	9.931,09		
	3 ménsulas	Sust	765,79	765,79	765,79	3 ménsulas	Sust	917,99	917,99	917,99	3 ménsulas	Sust	1.211,64	1.211,64	1.211,64		
		Sust 1.8	796,71	796,71	796,71		Sust 1.8	956,97	956,97	956,97		Sust 1.8	1.266,18	1.266,18	1.266,18		
		Sust a 2.2	827,62	827,62	827,62		Sust a 2.2	995,95	995,95	995,95		Sust a 2.2	1.320,71	1.320,71	1.320,71		
		HC	2.795,98	2.795,98	2.795,98		HC	3.539,85	3.539,85	3.539,85		HC	4.975,02	4.975,02	4.975,02		
		Retorno	334,77	334,77	334,77		Retorno	424,18	424,18	424,18		Retorno	596,71	596,71	596,71		
Feeder		0,00	637,22	1.357,06	Feeder		0,00	953,44	1.930,94	Feeder		0,00	1.563,65	3.038,37			
TOTAL		5.520,87	6.158,09	6.877,93	TOTAL		6.834,95	7.788,39	8.765,90	TOTAL		9.370,26	10.933,91	12.408,63			



MOMENTOS DE VUELCO (kgfm)

Alineación						Alineación						Alineación					
Conductor		Sin F	F -	F - y +		Conductor		Sin F	F -	F - y +		Conductor		Sin F	F -	F - y +	
Recta	3 ménsulas y A/S	Sust	601,87	601,87	601,87	Curva 5000	3 ménsulas y A/S	Sust	830,18	830,18	830,18	Curva 1200	3 ménsulas y A/S	Sust	1.270,64	1.270,64	1.270,64
		Sust 1.8	432,16	432,16	432,16			Sust 1.8	592,43	592,43	592,43			Sust 1.8	901,63	901,63	901,63
		Sust a 2.2	463,08	463,08	463,08			Sust a 2.2	631,41	631,41	631,41			Sust a 2.2	956,17	956,17	956,17
		HC	1.348,12	1.348,12	1.348,12			HC	2.215,97	2.215,97	2.215,97			HC	3.890,34	3.890,34	3.890,34
		Cola sust	919,72	919,72	919,72			Cola sust	919,72	919,72	919,72			Cola sust	1.159,47	1.159,47	1.159,47
		Cola HC	1.392,57	1.392,57	1.392,57			Cola HC	1.392,57	1.392,57	1.392,57			Cola HC	2.060,49	2.060,49	2.060,49
		Retorno	347,98	347,98	347,98			Retorno	437,39	437,39	437,39			Retorno	609,92	609,92	609,92
		Feeder	0	850,21	1.406,98			Feeder	0	1.166,43	1.980,86			Feeder	0	1.776,65	3.088,29
TOTAL		5.505,51	6.355,71	6.912,48	TOTAL		7.019,67	8.186,10	9.000,53	TOTAL		10.848,66	12.625,31	13.936,95			



12.9 PÓRTICOS

En el presente proyecto no se ha realizado el análisis del comportamiento mecánico de los pórticos, normalmente, mediante un programa de cálculo de estructuras (por ejemplo, CYPE).

El dimensionamiento de los pórticos se ha realizado en base a los datos extraídos del proyecto constructivo de la Línea Aérea de Contacto y Sistemas Asociados para la Línea de Alta Velocidad entre Madrid y Barcelona [SEMELCO, 2005], obteniéndose unos valores aproximados del momento de vuelco que generan los diferentes pórticos. En dicho proyecto, la modelización se realizó en base a cargas estandarizadas y longitudes de pórtico discretizadas, dimensionándose y calculándose pórticos de longitudes comprendidas entre 25 y 8 metros de luz.

En la tabla 12.18 se muestran, para cada uno de los pórticos que hay en el tramo de estudio del presente proyecto, los valores del momento de vuelco máximo que generan dichos pórticos sobre los postes que los sustentan (Valores aproximados).

Tabla 12.18. Momentos máximos generados en los pórticos

P.P.K.K.	ESTACIÓN	LONGITUD (M)	Nº VÍAS	MOMENTO MÁXIMO kgf·m
021+219	Medina	22	4	11.500
021+258	Medina	20	4	11.000
021+876	Medina	21	4	11.200
021+908	Medina	20	4	11.000
021+930	Medina	20	4	11.000
021+962	Medina	22	4	11.500
022+163	Medina	12	3	6.300
022+226	Medina	19	4	10.700
022+289	Medina	19	4	10.700
022+348	Medina	9	2	6.100
022+460	Medina	11	3	6.100
022+514	Medina	11	3	6.100
022+572	Medina	11	3	6.100
022+630	Medina	11	3	6.100
022+688	Medina	11	3	6.100
022+745	Medina	11	3	6.100
022+860	Medina	11	3	6.100
022+908	Medina	16	3	7.500
022+914	Medina	8	2	5.400
022+958	Medina	8	2	5.400
023+008	Medina	15	3	7.100
023+049	Medina	16	3	7.500
023+080	Medina	17	3	8.000
003+157	Intercambiador	13	3	6.800
003+302	Intercambiador	8	2	5.400
046+733	PB Nava	12	2	6.100
047+649	PB Nava	12	2	6.100

P.P.K.K.	ESTACIÓN	LONGITUD (M)	Nº VÍAS	MOMENTO MÁXIMO kgf·m
068+471	PAET Toro	12	2	6.100
069+137	PAET Toro	22	4	11.500
069+137	PAET Toro	22	4	11.500
069+173	PAET Toro	22	4	11.500
069+210	PAET Toro	22	4	11.500
069+806	PAET Toro	22	4	11.500
069+842	PAET Toro	22	4	11.500
069+879	PAET Toro	22	4	11.500
070+545	PAET Toro	12	2	6.100
088+648	PB Coreses	12	2	6.100
089+563	PB Coreses	12	2	6.100

➤ Pórtico de 2 vías ó Semipórtico

En la figura 12.12 se muestra un modelo de semipórtico o pórtico de 2 vías

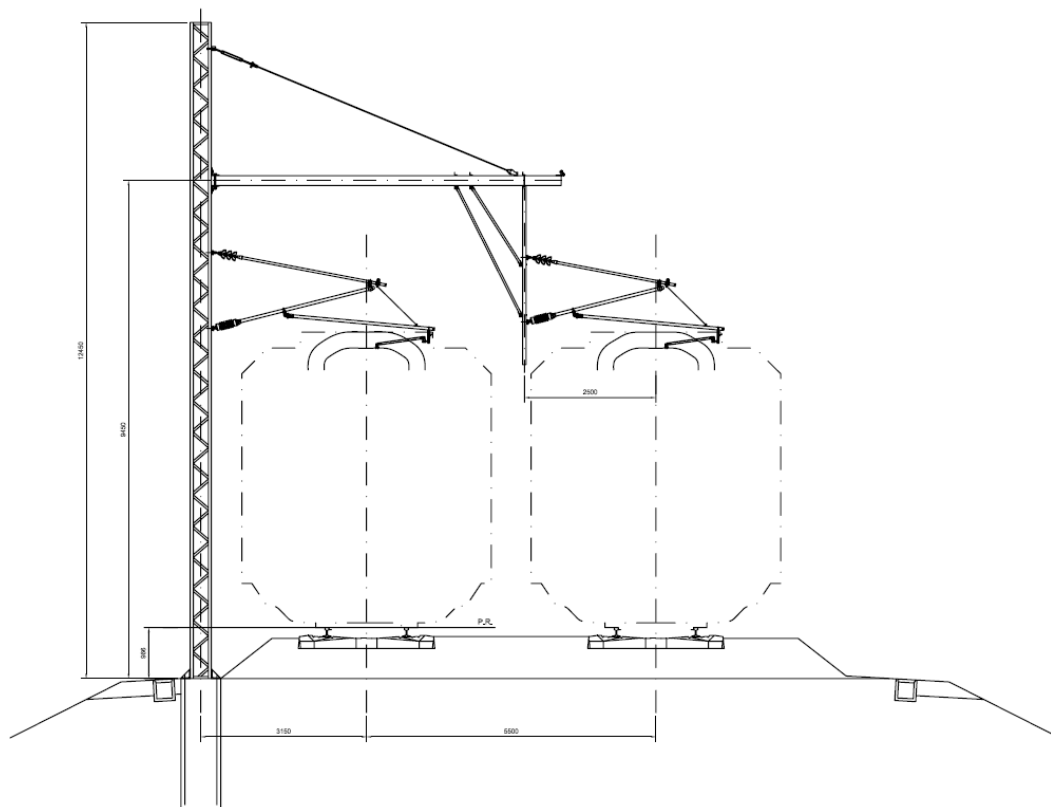


Figura 12.12. Semipórtico

➤ Pórtico de 3 vías

En la figura 12.13 se muestra un modelo de pórtico de 3 vías

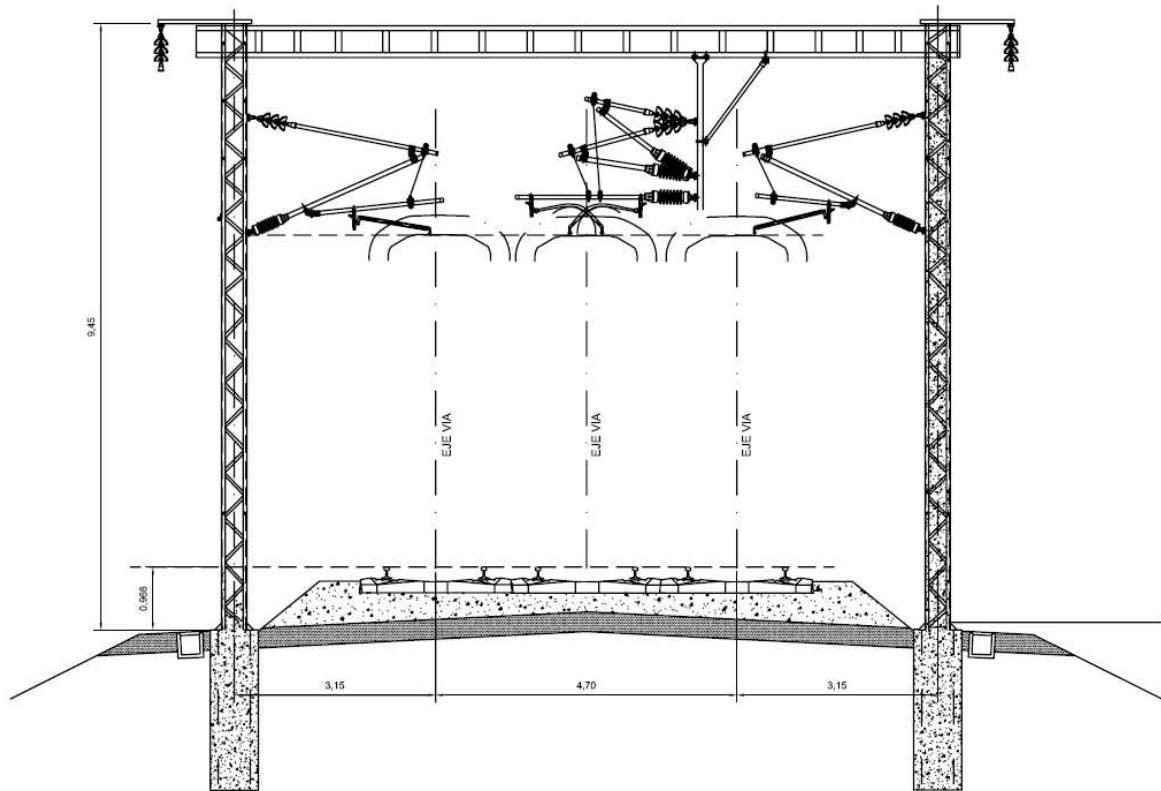


Figura 12.13. Pórtico 3 vías

➤ Pórtico de 4 vías

En la figura 12.14 se muestra un modelo de pórtico de 4 vías

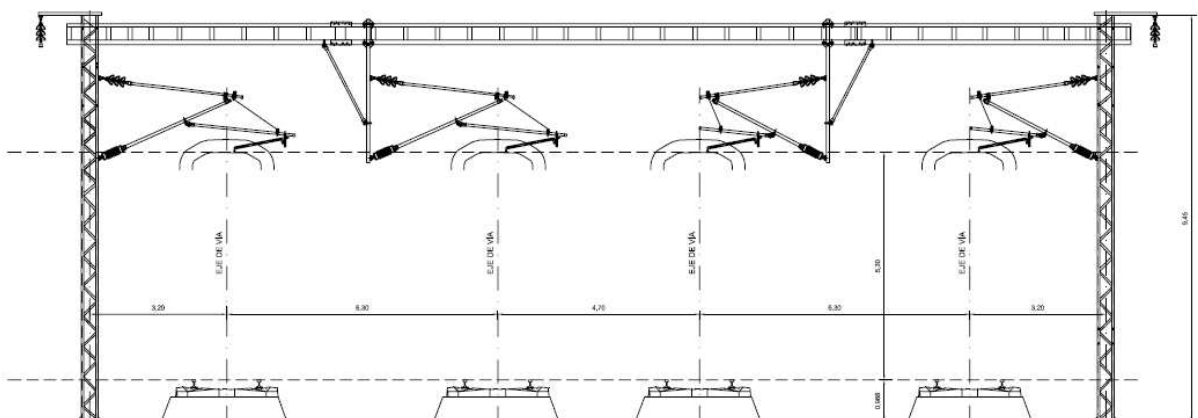


Figura 12.14. Pórtico 4 vías



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

13. RESISTENCIA DE LOS POSTES

CAPÍTULO 13

RESISTENCIA DE LOS POSTES



13 RESISTENCIA DE LOS POSTES

En el presente capítulo, una vez conocidos los momentos máximos transmitidos a los diferentes postes que soportan la catenaria, se va a deducir la resistencia mecánica de cada una de las configuraciones de poste posibles, que están dimensionados con perfiles de diferentes tamaños en función de los esfuerzos que tengan que soportar.

Los postes normales de la catenaria son metálicos, formados por dos perfiles UPN unidos por diagonales. Se anclan a la cimentación por intermedio de una placa que se fija con tuercas a los cáncamos que forman la armadura de la cimentación.

La altura de los postes es de 8,55 m, cuando la catenaria no lleva *feeder* de refuerzo, y de 9,45 m, cuando sí lleva *feeder* de refuerzo y cuando es un anclaje de compensación.

En los postes de Semieje y en todos aquellos que tienen que soportar esfuerzos de torsión, dado que las secciones abiertas no soportan la torsión, se emplean postes cerrados con chapa de 8 mm, formando un cajón indeformable.

En este apartado se predimensionan y calculan los postes necesarios para el montaje de los equipos de catenaria. Se proyectan 4 tipos básicos de postes:

- X-nAV: Vía general, excepto semiejes de seccionamiento. Sin *feeder* de refuerzo.
- XL-nAV: Anclajes de seccionamiento de vía general sin *feeder de refuerzo* y vía general con *feeder* de refuerzo.
- XC-nAV: Semiejes de vía general, sin *feeder* de refuerzo.
- XCL-nAV: Semiejes de vía general con *feeder* de refuerzo.

13.1 PERFILES UPN

Se denomina Perfil U Normal (UPN) al producto cuya sección tiene forma de U.

Los Perfiles UPN se definen de acuerdo a las siguientes normas:

- UNE 36522:1972 - Productos de Acero. Perfil U Normal (UPN). Medidas y tolerancias. **[UNE 36522:1972]**
- UNE-EN 10279:2001 - Perfiles en U de Acero laminado en caliente. Tolerancias dimensionales, de la forma y de la masa. **[UNE-EN 10279:2001]**

Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 8% o 5% respecto a aquéllas (U de caras inclinadas), por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes.

Las uniones entre la cara interior del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Estas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada (*Figura 13.1*).

Estos perfiles son designados por las letras UPN, seguidas de un número que indica la altura total nominal (h) del perfil, expresada en milímetros.

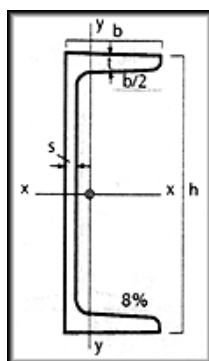


Figura 13.1. Perfil UPN

Las dimensiones, masas, propiedades geométricas y propiedades mecánicas, que se presentan en las tablas 13.1 y 13.2, corresponden a los perfiles UPN Standard.

Tabla 13.1. Características Geométricas de los Perfiles UPN

Denom. U.P.N.	Dimensiones				Sección		Peso G kg/m
	h mm	b mm	s mm	t mm	xg cm	F cm ²	
80	80	45	6	8	1,45	11	8,6
100	100	50	6	8,5	1,55	13,5	10,6
120	120	55	7	9	1,6	17	13,3
140	140	60	7	10	1,75	20,4	16
160	160	65	7,5	10,5	1,84	24	18,8
180	180	70	8	11	1,92	28	21,9
200	200	75	8,5	11,5	2,01	32,2	25,2
220	220	80	9	12,5	2,14	37,4	29,3
240	240	85	9,5	13	2,23	42,3	33,1
260	260	90	10	14	2,36	48,3	37,8
280	280	95	10	15	2,53	53,3	41,8
300	300	100	10	16	2,7	58,8	46,1
320	320	100	14	17,5	2,6	75,8	59,4
350	350	100	14	16	2,4	77,3	60,6
380	380	102	13,5	16	2,38	80,4	63
400	400	110	14	18	2,65	91,5	71,7

Tabla 13.2. Características Mecánicas de los Perfiles UPN

Denom. U.P.N.	Valores estáticos					
	Jx cm ⁴	Jy cm ⁴	Wx cm ³	Wy cm ³	ix cm	iy = il cm
80	106	19,4	26,5	6,3	3,1	1,33
100	206	29,3	41,2	8,5	3,91	1,47
120	364	43,2	60,7	11,1	4,63	1,59
140	605	62,7	86,4	14,8	5,45	1,75
160	925	85,3	115,6	18,3	6,21	1,89
180	1350	114	150	22,4	6,94	2,02
200	1910	148	191	27	7,7	2,14
220	2690	197	244,5	33,6	8,48	2,3
240	3600	248	300	39,6	9,23	2,42
260	4820	317	370	47,7	9,99	2,56
280	6280	399	448	57,2	10,85	2,74
300	8030	495	535	67,8	11,69	2,9
320	10870	597	679	80,6	11,98	2,81
350	12840	570	733,7	75	12,89	2,72
380	15760	615	829,5	78,7	14	2,77
400	20350	846	1017,5	102	14,91	3,07

13.2 CÁLCULO DEL MOMENTO ADMISIBLE

Se procede al cálculo del momento admisible de cada tipo de poste, diferenciando entre:

- Los postes normales de la catenaria: metálicos formados por 2 UPN unidos por diagonales.
- Los postes de Semieje y todos aquellos que deban soportar esfuerzos de torsión: postes cerrados con chapa de 8 mm, formando un cajón indeformable.

En ambos casos, para postes de 8,55 m de altura, cuando la catenaria no lleva *feeder* de refuerzo, y para los de 9,45 m, cuando sí lleva *feeder* de refuerzo y cuando es un anclaje de compensación.

13.2.1 DOS PERFILES UPN UNIDOS POR DIAGONALES

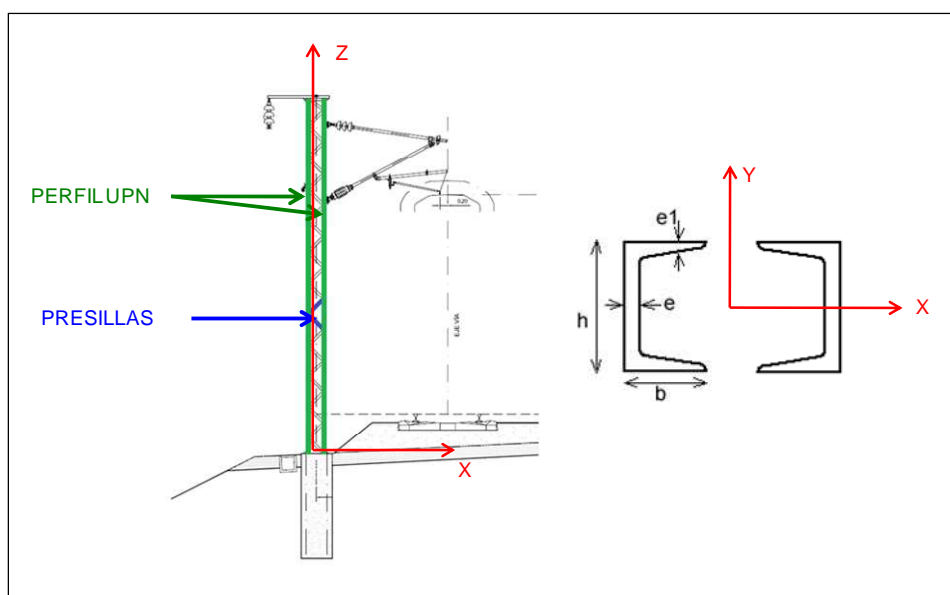


Figura 13.2. Poste formado por dos perfiles UPN unidos por diagonales

Se calculará el momento flector resistente de los diferentes postes, justificando la configuración adoptada en la figura 13.2, con la cual se obtiene un mayor momento resistente con respecto al eje Y.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot x \cdot \Omega}{I_Y} \Rightarrow M_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \cdot I_Y}{x \cdot \Omega} \quad (\text{Ec. 13.1})$$

Siendo:

- M_{adm} = Momento máximo admisible por el poste [kgf·m]
- σ_{\max} = Tensión máxima del material, en este caso acero. [kgf/m²]
- I_y = Momento de Inercia respecto al eje Y del poste [m⁴]
- Ω = Coeficiente de seguridad de pandeo.

De cada perfil UPN se conoce:

- Características geométricas (dimensiones, centro de gravedad, etc.)
- $I_{Y'}$ = Momento de Inercia respecto al eje Y' del perfil
- $I_{X'}$ = Momento de Inercia respecto al eje X' del perfil
- $W_{Y'}$ = Modulo resistente respecto al eje Y' del perfil
- $W_{X'}$ = Modulo resistente respecto al eje X' del perfil
- Ω = Coeficiente de pandeo.

Hay que calcular el momento de inercia con respecto al eje Y (Figura 13.3):

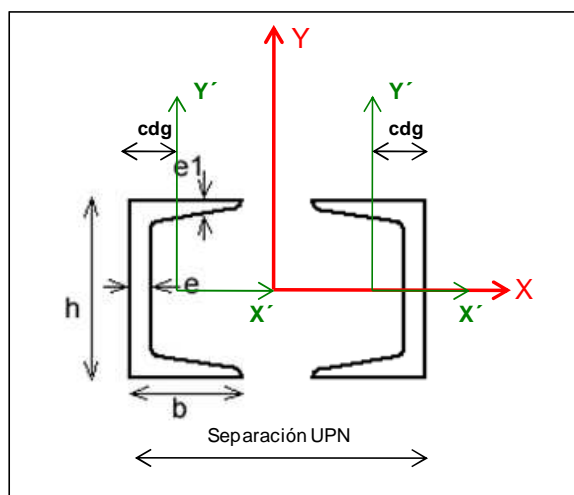


Figura 13.3. Cálculo momento de inercia dos perfiles UPN unidos por diagonales

La separación entre los perfiles UPN se encuentra estandarizada a través de la Norma ETI de infraestructura [2002/732/CE: 2002], variando en función de las dimensiones de los perfiles UPN que montan los postes.

Por lo tanto, según el Teorema de Steiner, que establece que el momento de inercia con respecto a cualquier eje paralelo a un eje que pasa por el centro de gravedad, es igual al momento de inercia con respecto al eje que pasa por el centro de gravedad más el producto del área de la sección por el cuadrado de la distancia entre los dos ejes:

$$I_Y = I_{Y'} + A \cdot (x - x_G)^2 \quad (\text{Ec. 13.2})$$

Donde: I_Y es el momento de inercia respecto al eje que no pasa por el centro de gravedad; $I_{Y'}$ es el momento de inercia para un eje paralelo al anterior que pasa por el centro de gravedad; A es el área de la sección y $(x - x_G)$ es la distancia entre los dos ejes paralelos considerados.

Como los momentos de inercia de cada uno de los perfiles UPN con respecto al eje Y van a ser iguales, el momento de Inercia total del poste con respecto al eje Y será:

$$I_Y = 2 \cdot [I_{Y'} + A \cdot (x - x_G)^2] = 2 \cdot \left[I_{Y'} + A \cdot \left(\frac{\text{Separación UPN}}{2} - CDG \right)^2 \right] \quad (\text{Ec. 13.3})$$

Conocido el momento de inercia, I_Y , se calcula el modulo resistente con respecto al eje Y:

$$W_Y = \frac{I_Y}{x} \quad (\text{Ec. 13.4})$$

Donde: x es la distancia entre el eje Y y el punto más alejado del perfil con respecto al eje Y, ya que al estar el poste sometido a flexión, es la zona donde mayores tensiones se registren, tanto de tracción como de compresión.

$$W_Y = \frac{I_Y}{\frac{\text{Separación UPN}}{2}} \quad (\text{Ec. 13.5})$$

Al ser el eje X del poste coincidente con los ejes X de los perfiles UPN, el modulo resistente con respecto al eje X será:

$$W_X = 2 \cdot W_{X'} \quad (\text{Ec. 13.6})$$

Observando la tabla 13.3, se puede apreciar como los valores obtenidos de W_Y para los diferentes postes son superiores a los obtenidos de W_x , justificándose la configuración de los postes de la forma en que aparecen en la figura 13.4.

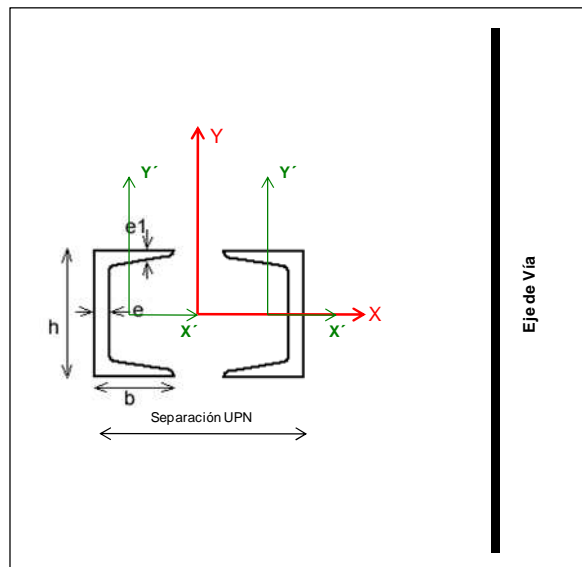


Figura 13.4. Ubicación de los postes con respecto al eje de la vía

Como se pudo comprobar en los capítulos 11 y 12, las fuerzas horizontales y verticales aplicadas en los postes generan unos momentos de flexión que tienden a volcar al poste hacia el lado de dentro de la vía o hacia el lado de fuera de la vía. Por ello, para obtener la mayor resistencia posible en los postes, la



configuración adoptada en la figura 13.4 es la más apropiada, al ser el modulo resistente en el eje Y mayor que el obtenido con respecto al eje X.

Una vez justificada la configuración de los perfiles para formar los postes, el momento máximo admisible por cada tipo de poste se calculará de la siguiente forma:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot x \cdot \Omega}{I_Y} \Rightarrow M_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \cdot I_Y}{x \cdot \Omega} \Rightarrow M_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \cdot W_Y}{\Omega} \quad (\text{Ec. 13.7})$$

A la hora de calcular la resistencia mecánica de este tipo de postes (2 UPN unidos por diagonales) se considera que están sometidos a compresión centrada, aplicando el coeficiente de pandeo de la forma que aparece en la expresión (Ec. 13.7). El coeficiente de pandeo Ω se va a obtener a partir de la esbeltez mecánica de los perfiles UPN.

La esbeltez mecánica es una característica de las barras estructurales que relaciona la rigidez transversal de una pieza prismática con su longitud:

$$\lambda = \frac{l_z}{i_y} \quad (\text{Ec. 13.8})$$

Donde:

- λ = Esbeltez mecánica
- l_z = Longitud de pandeo de la pieza en el plano Z [m]

Según la norma básica NBE-EA-95 [NBE-EA-95:1995], la longitud de pandeo será:

$$l_z = \beta \cdot l \quad (\text{Ec. 13.9})$$

Donde:

- β = Coeficiente normalizado, que en este caso, para pilares empotrados-libres es $\beta = 2$
- l = longitud del pilar [m]
- i_y = Radio de giro de la sección de la pieza respecto al eje de inercia Y [m]. (en la tabla 13.2)

A partir de la esbeltez mecánica, el coeficiente de pandeo, Ω , se obtiene de los valores tabulados que aparecen en el artículo 3.2.4 de la NBE-EA-95, y que están reflejados en la tabla 13.3 para cada tipo de perfil utilizado.

Otro factor a tener en cuenta a la hora de calcular el momento admisible por el poste es el momento flector generado por efecto del viento cuando éste actúa de forma transversal sobre el eje de la vía.

Considerando una velocidad del aire de 120 km/h se obtiene que la presión del aire sobre la superficie del poste es:



$$P_{aire} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot V_{aire}^2 \quad (Ec. 13.10)$$

Dónde:

- ρ_{aire} = Densidad del aire [kgf/m^3]
- V_{aire} = Velocidad del aire [m/s]

Por lo tanto:

$$P_{aire} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{aire} \cdot V_{aire}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2[\text{kg} / \text{m}^3] \cdot 33,33^2[\text{m} / \text{s}]^2 = 908 \text{ Pa} = 92,59 \text{ kgf} / \text{m}^2 \cong 100 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

La superficie transversal del poste será:

$$A_{poste} = h_{poste} \cdot h_{UPN} \quad (Ec. 13.11)$$

Donde:

- h_{poste} = Altura del poste [m]
- h_{UPN} = Altura del perfil UPN [m]

Para el cálculo del momento flector generado por el viento se considera que la resultante de la fuerza uniforme ejercida por el viento se aplica sobre el punto medio del poste, sobre la componente Z de su centro de gravedad:

$$M_{viento} = P_{aire} \cdot A_{poste} \cdot \frac{h_{poste}}{2} \quad (Ec. 13.12)$$

Con el fin de otorgar mas seguridad a la instalación y ser mas restrictivo en el cálculo, el momento realmente admisible por el poste será igual a la diferencia entre el momento resistente calculado en la [Ec. 13.7] y el momento ejercido por el viento sobre el poste, calculado en (Ec. 13.10):

$$M_{admisible} = M_{Max} - M_{viento} \quad (Ec. 13.13)$$

En la tabla 13.3 quedan reflejados los momentos resistentes obtenidos para las diferentes configuraciones posibles de postes formados por dos perfiles UPN unidos mediante diagonales.

Tabla 13.3. Resultados Momentos admisibles por cada tipo de poste formado por dos UPN unidos por diagonales

Resistencia de postes							
	X-1AV	X-2AV	X-3AV	X-4AV	X-5AV	X-6AV	X-7AV
Altura del poste (m)	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55
UPN	100	120	140	160	180	200	220
Separación UPN (cm)	40	40	40	40	45	45	45
Ancho UPN (cm)	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8



Resistencia de postes							
	X-1AV	X-2AV	X-3AV	X-4AV	X-5AV	X-6AV	X-7AV
Ancho presilla (cm)	4	4	4	4	4	4	4
Espesor presilla (cm)	1	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	2
Radio de giro de la UPN (cm)	1,47	1,59	1,75	1,89	2,02	2,14	2,3
Carga de trabajo (kgf/cm ²)	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Momento de inercia (cm ⁴)	29,3	43,2	62,7	85,3	114	148	197
cG (cm)	1,55	1,6	1,75	1,84	1,92	2,01	2,14
Área UPN (cm ²)	13,5	17	20,4	24	28	32,2	37,4
Modulo resistente (cm ³)	41,2	60,7	86,4	11	150	191	245
Número de presillas	26	26	26	26	26	26	26
Presión del viento (kgf/m ²)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud de presillas (cm)	53,15	53,15	53,15	53,15	57,01	57,01	57,01
Esbeltez de la UPN	47,62	44,03	40,00	37,04	34,65	32,71	30,43
Omega UPN	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04
Iy (cm ⁴)	9249,47	11597,44	13714,35	16000,31	23946,04	27333,70	31400,81
Wy (cm ³)	462,47	579,87	685,72	800,02	1064,27	1214,83	1395,59
Wx (cm ³)	82,40	121,40	172,80	22,00	300,00	382,00	490,00
Superficie viento transversal (m ²)	1,28	1,54	1,80	2,05	2,31	2,57	2,82
Superficie viento longitudinal (m ²)	2,82	2,99	3,16	3,33	3,58	3,75	3,92
Cortante transversal viento (kgf)	128,25	153,90	179,55	205,20	230,85	256,50	282,15
Momento transversal viento (kgf·m)	548,27	657,92	767,58	877,23	986,88	1096,54	1206,19
Momento longitudinal viento (kgf·m)	1203,63	1276,74	1349,84	1422,94	1530,37	1603,47	1676,57
Momento admisible total (kgf·m)	5833,00	7447,90	8972,00	10566,24	14190,24	16197,75	18786,81
Momento adm.-viento (kgf·m)	5284,73	6789,97	8204,43	9689,01	13203,36	15101,21	17580,62

Resistencia de postes (continuación)						
	XL-2AV	XL-3AV	XL-4AV	XL-5AV	XL-6AV	XL-7AV
Altura del poste (m)	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45
UPN	120	140	160	180	200	220
Separación UPN (cm)	40	40	40	45	45	45
Ancho UPN	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Ancho presilla (cm)	4	4	4	4	4	4
Espesor presilla (cm)	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	2
Radio de giro de la UPN (cm)	1,59	1,75	1,89	2,02	2,14	2,3
Carga de trabajo (kgf/cm ²)	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Momento de inercia (cm ⁴)	43,2	62,7	85,3	114	148	197
cG (cm)	1,6	1,75	1,84	1,92	2,01	2,14
Área UPN (cm ²)	17	20,4	24	28	32,2	37,4
Modulo resistente (cm ³)	60,7	86,4	11	150	191	245
Número de presillas	29	29	29	29	29	29
Presión del viento (kgf/m ²)	100	100	100	100	100	100
Longitud de presillas (cm)	53,15	53,15	53,15	57,01	57,01	57,01

Resistencia de postes (continuación)						
	XL-2AV	XL-3AV	XL-4AV	XL-5AV	XL-6AV	XL-7AV
Esbeltez de la UPN	44,03	40,00	37,04	34,65	32,71	30,43
Omega UPN	1,09	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04
Iy (cm ⁴)	11597,44	13714,35	16000,31	23946,04	27333,70	31400,81
Wy (cm ³)	579,87	685,72	800,02	1064,27	1214,83	1395,59
Wx (cm ³)	121,40	172,80	22,00	300,00	382,00	490,00
Superficie viento transversal (m ²)	1,70	1,98	2,27	2,55	2,84	3,12
Superficie viento longitudinal (m ²)	3,31	3,50	3,69	3,97	4,16	4,35
Momento transversal viento (kgf·m)	803,72	937,68	1071,63	1205,58	1339,54	1473,49
Momento longitudinal viento (kgf·m)	1564,96	1654,26	1743,56	1875,18	1964,48	2053,78
Momento admisible total (kgf·m)	7447,90	8972,00	10566,24	14190,24	16197,75	18786,81
Momento adm.-viento (kgf·m)	6644,17	8034,33	9494,61	12984,66	14858,21	17313,32

13.2.2 POSTES CERRADOS

En la figura 13.5 se observa un esquema de un poste formado por dos perfiles UPN cerrados con presillas.

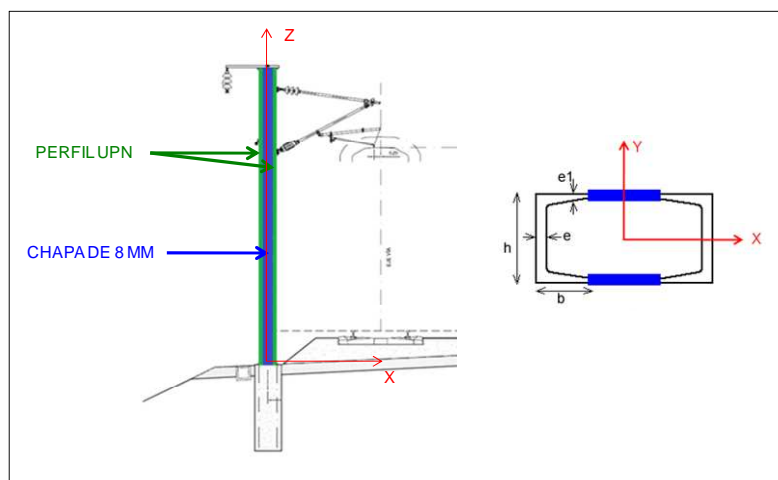


Figura 13.5. Poste formado por dos perfiles UPN unidos por dos chapas

El momento máximo admisible se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{adm} \cdot x}{I_Y} \Rightarrow M_{adm} = \frac{\sigma_{\max} \cdot I_Y}{x} \quad (\text{Ec. 13.14})$$

Para este tipo de postes no es necesario calcular el coeficiente de seguridad de pandeo, Ω ., ya que se considera que los cierres metálicos que unen los dos perfiles UPN son lo suficientemente rígidos como para evitar su pandeo lateral-torsional por flexión.

Igual que antes, es necesario calcular el momento de inercia con respecto al eje Y (Figura 13.6).

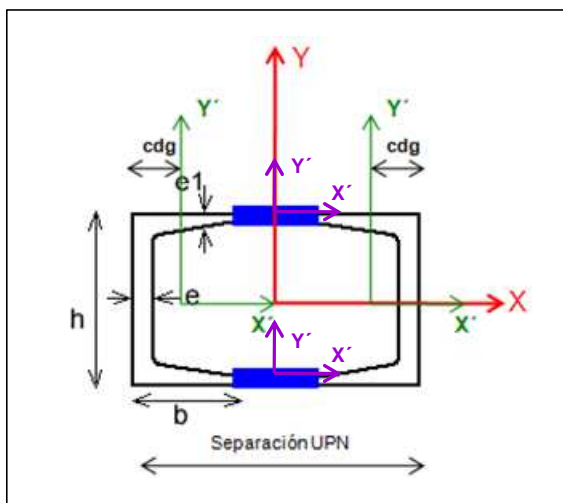


Figura 13.6. Momento de Inercia de un poste formado por dos perfiles UPN unidos por dos chapas

Aplicando el Teorema de Steiner, y siendo los momentos de inercia de cada uno de los perfiles UPN con respecto al eje Y iguales, el momento de Inercia de ambos perfiles unidos con respecto al eje Y se obtiene a través de la expresión [Ec. 13.3], la cual se vuelve a reproducir a continuación:

$$I_{Y_{UPN}} = 2 \cdot [I_{Y'_{UPN}} + A \cdot (x - x_G)^2] = 2 \cdot \left[I_{Y'_{UPN}} + A \cdot \left(\frac{\text{Separación UPN}}{2} - CDG \right)^2 \right]$$

En el caso de las chapas, el eje Y de las chapas es coincidente con el eje Y del poste, por lo que el momento de Inercia de las dos chapas de 8mm con respecto al eje Y será:

$$I_{Y_{Chapas}} = 2 \cdot I_{Y'_{Chapa}} \quad (\text{Ec. 13.15})$$

Las chapas son de sección rectangular por lo que el momento de inercia respecto al eje Y será de la forma (Figura 13.7):

$$I_{Y'_{Chapa}} = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot e \quad (\text{Ec. 13.16})$$

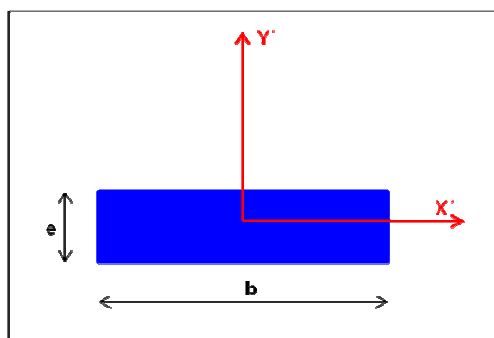


Figura 13.7. Momento de Inercia de una chapa



Por lo tanto:

$$I_{y_{Chapas}} = 2 \cdot I_{y'_{Chapa}} = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot e \right] = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN})^3 \cdot e \right]$$

Donde: d_{UPN} es la separación entre perfiles UPN, b_{UPN} es la anchura del perfil UPN y e es el espesor de la chapa.

El momento de inercia total de la sección del poste con respecto al eje Y será:

$$I_y = I_{y_{UPN}} + I_{y_{Chapas}} = 2 \cdot \left[I_{y'_{UPN}} + A \cdot \left(\frac{d_{UPN}}{2} - d_{CDG} \right)^2 \right] + 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN})^3 \cdot e \right] \quad (Ec. 13.17)$$

Conocido el momento de inercia, I_y , el modulo resistente con respecto al eje Y vendrá dado por la expresión (Ec. 13.4):

El modulo resistente con respecto al eje X es:

$$W_x = W_{x_{UPN}} + W_{x_{Chapas}} = 2 \cdot W_{x'_{UPN}} + \frac{I_{x_{Chapas}}}{y} \quad (Ec. 13.18)$$

En el caso de los perfiles UPN, al ser el eje X del poste coincidente con los ejes X de los perfiles, el modulo resistente con respecto al eje X será:

$$W_{x_{UPN}} = 2 \cdot W_{x'_{UPN}} \quad (Ec. 13.19)$$

El momento de Inercia de las chapas con respecto al eje X del poste se obtiene aplicando el Teorema de Steiner:

$$I_{x_{Chapas}} = 2 \cdot [I_{x'_{Chapa}} + A_{Chapa} \cdot (x - x_G)^2] = 2 \cdot \left[I_{x'_{Chapa}} + A_{Chapa} \cdot \left(\frac{h_{UPN}}{2} - \frac{e_{Chapa}}{2} \right)^2 \right] \quad (Ec. 13.20)$$

Donde:

$$A_{Chapa} = e_{Chapa} \cdot (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN}) = \text{Área de cada una de las chapas}$$

Y el momento de Inercia de cada una de las chapas con respecto al eje X', referenciados como aparecen en la figura 13.7, será:

$$I_{x'_{Chapa}} = \frac{1}{12} \cdot e_{Chapa}^3 \cdot b_{Chapa} = \frac{1}{12} \cdot e_{chapa}^3 (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN}) \quad (Ec. 13.21)$$

Por lo tanto

$$I_{x_{Chapas}} = 2 \cdot [I_{x'_{Chapa}} + A_{Chapa} \cdot (x - x_G)^2] = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot e_{chapa}^3 (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN}) + A_{Chapa} \cdot \left(\frac{h_{UPN}}{2} - \frac{e_{Chapa}}{2} \right)^2 \right]$$

El modulo resistente con respecto al eje X será:

$$W_x = W_{x_{UPN}} + W_{x_{Chapas}} = 2 \cdot W_{x'_{UPN}} + \frac{2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot e_{chapa}^3 (d_{UPN} - 2 \cdot b_{UPN}) + A_{Chapa} \cdot \left(\frac{h_{UPN}}{2} - \frac{e_{Chapa}}{2} \right)^2 \right]}{y}$$

Donde: y es la distancia entre el eje X y el punto más alejado del perfil, $y = h_{UPN}/2$

Observando la tabla 13.4, se puede apreciar como los valores obtenidos de W_y para los diferentes postes son superiores a los obtenidos de W_x , justificándose la configuración de los postes de la forma en que aparecen en la figura 13.8.

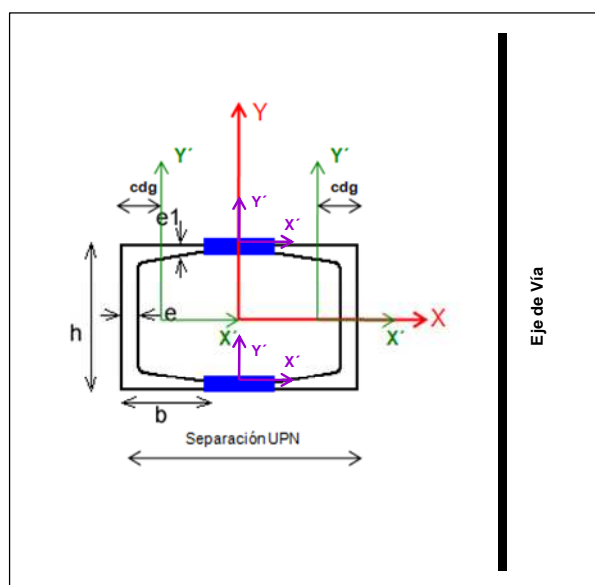


Figura 13.8. Ubicación de los postes con respecto al eje de la vía

Una vez justificada la configuración de los perfiles para formar los postes, el momento máximo admisible de cada tipo de poste se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot x}{I_Y} \Rightarrow M_{\max} = \frac{\sigma_{\max} \cdot I_Y}{x} \Rightarrow M_{\max} = \sigma_{\max} \cdot W_Y \quad (\text{Ec. 13.22})$$

Al igual que antes, el momento de vuelco que realmente es capaz de soportar el poste por efecto de las fuerzas ejercidas por los diferentes componentes de la catenaria es:

$$M_{\text{admisible}} = M_{\text{Max}} - M_{\text{viento}}$$



En la tabla 13.4 quedan reflejados los momentos resistentes obtenidos para las diferentes configuraciones posibles de postes formados por dos perfiles UPN unidos mediante chapas..

Tabla 13.4. Resultados Momentos admisibles por cada tipo de poste formado por dos UPN unidos por dos chapas

Resistencia de postes					
	XC-2AV	XC-3AV	XC-4AV	XC-5AV	XC-6AV
Altura del poste (m)	8,55	8,55	8,55	8,55	8,55
UPN	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00
Separación UPN (cm)	36,00	36,00	36,00	45,00	45,00
Ancho UPN	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Carga de trabajo (kgf/cm ²)	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00
Momento de inercia y (cm ⁴)	43,20	62,70	85,30	114,00	148,00
Momento de inercia x (cm ⁴)	364,00	605,00	925,00	1350,00	1910,00
cG (cm)	1,60	1,75	1,84	1,92	2,01
Área UPN (cm ²)	17,00	20,40	24,00	28,00	32,20
Modulo resistente (cm ³)	60,70	86,40	11,00	150,00	191,00
Presión del viento (kgf/m ²)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ancho de la chapa	25,00	24,00	23,00	31,00	30,00
Espesor de chapa (mm)	8,00	8,00	8,00	8,00	10,00
Area transv de la chapa (cm ²)	20,00	19,20	18,40	24,80	30,00
Ix chapa (cm ⁴)	628,27	837,38	1063,77	1835,53	2710,00
Iy total (cm ⁴)	11314,37	12742,35	14327,86	27918,17	31833,70
Wy (cm ³)	628,58	707,91	795,99	1240,81	1414,83
Wx (cm ³)	230	264	269	441	580,20
Superficie viento transversal (m ²)	1,54	1,80	2,05	2,31	2,57
Superficie viento longitudinal (m ²)	4,62	4,62	4,62	5,77	5,77
Momento transversal viento (kgf·m)	657,92	767,58	877,23	986,88	1096,54
Momento longitudinal viento (kgf·m)	1973,77	1973,77	1973,77	2467,21	2467,21
Momento admisible total (kgf·m)	8800,07	9910,72	11143,89	17371,31	19807,64
Momento admisible-viento (kgf·m)	8142,15	9143,14	10266,66	16384,42	18711,10

Resistencia de postes						
	XCL-2AV	XCL-3AV	XCL-4AV	XCL-5AV	XCL-6AV	XCL-7AV
Altura del poste (m)	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45
UPN	120,00	140,00	160,00	180,00	200,00	220,00
Separación UPN (cm)	36,00	36,00	36,00	45,00	45,00	45,00
Ancho UPN	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00
Carga de trabajo (kgf/cm ²)	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00
Momento de inercia y (cm ⁴)	43,20	62,70	85,30	114,00	148,00	197,00
Momento de inercia x (cm ⁴)	364,00	605,00	925,00	1350,00	1910,00	2690,00
cG (cm)	1,60	1,75	1,84	1,92	2,01	2,14
Área UPN (cm ²)	17,00	20,40	24,00	28,00	32,20	37,40
Modulo resistente (cm ³)	60,70	86,40	11,00	150,00	191,00	245,00



Resistencia de postes						
	XCL-2AV	XCL-3AV	XCL-4AV	XCL-5AV	XCL-6AV	XCL-7AV
Presión del viento (kgf/m^2)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ancho de la chapa	25,00	24,00	23,00	31,00	30,00	29,00
Espesor de chapa (mm)	8,00	8,00	8,00	8,00	10,00	10,00
Area transv de la chapa (cm^2)	20,00	19,20	18,40	24,80	30,00	29,00
Ix chapa (cm^4)	628,27	837,38	1063,77	1835,53	2710,00	3199,67
Iy total (cm^4)	11314,37	12742,35	14327,86	27918,17	31833,70	35465,65
Wy (cm^3)	628,58	707,91	795,99	1240,81	1414,83	1576,25
Wx (cm^3)	230	264	269	441	580	626,30
Superficie viento transversal (m^2)	1,70	1,98	2,27	2,55	2,84	3,12
Superficie viento longitudinal (m^2)	5,10	5,10	5,10	6,38	6,38	6,38
Momento transversal viento ($\text{kgf}\cdot\text{m}$)	803,72	937,68	1071,63	1205,58	1339,54	1473,49
Momento longitudinal viento ($\text{kgf}\cdot\text{m}$)	2411,17	2411,17	2411,17	3013,96	3013,96	3013,96
Momento admisible total ($\text{kgf}\cdot\text{m}$)	8800,07	9910,72	11143,89	17371,31	19807,64	22067,51
Momento admisible-viento ($\text{kgf}\cdot\text{m}$)	7996,35	8973,04	10072,26	16165,72	18468,10	20594,02



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

14. SELECCIÓN DE LOS POSTES

CAPÍTULO 14

SELECCIÓN DE LOS POSTES



14 SELECCIÓN DE LOS POSTES

En función de los momentos máximos de vuelco que pueden generar las fuerzas que actúan sobre los postes, calculados en el capítulo 12, y de los momentos resistentes que son capaces de soportar los distintos modelos de poste existentes, calculados en el capítulo 13, se muestran en la tabla 14.1 los postes seleccionados para cada tipo de configuración posible. En la tabla 14.2 se muestra la selección de postes para los pórticos del tramo.



Tabla 14.1. Selección de Postes

		Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)	Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)	Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)
		Sin feeder			Con feeder - 380			Con feeder - 380 y + 280		
Recta	Recta	2.032,56	X-1AV	5.284,73	2.669,77	X-1AV	5.284,73	3.389,61	XL-2AV	6.644,17
	Punto fijo	2.717,94	X-1AV	5.284,73	3.568,15	X-1AV	5.284,73	4.124,91	XL-2AV	6.644,17
	An PF	2.912,80	X-1AV	5.284,73	3.550,01	X-1AV	5.284,73	4.269,85	XL-2AV	6.644,17
	An Secc	4.572,69	XL-3AV	8.034,33	5.209,90	XL-3AV	8.034,33	5.929,74	XL-3AV	8.034,33
	S/E Secc	3.882,42	XC-2AV	8.142,15	4.732,63	XC-2AV	8.142,15	5.289,39	XCL-2AV	7.996,35
	Eje Secc	3.815,36	X-2AV	6.789,97	4.452,57	X-2AV	6.789,97	5.172,41	XL-2AV	6.644,17
	3 ménsulas	5.520,87	X-3AV	8.204,43	6.158,09	XL-3AV	8.034,33	6.877,93	XL-3AV	8.034,33
	3 ménsulas A/S	5.505,51	XL-5AV	12.984,66	6.355,71	XL-5AV	12.984,66	6.912,48	XL-5AV	12.984,66
		Sin feeder			Con feeder - 380			Con feeder - 380 y + 280		
Curva 5000	Recta	2.522,12	X-1AV	5.284,73	3.475,56	X-1AV	5.284,73	4.453,07	XL-2AV	6.644,17
	Punto fijo	3.207,51	X-1AV	5.284,73	4.373,94	X-1AV	5.284,73	5.188,37	XL-2AV	6.644,17
	An PF	3.402,36	X-1AV	5.284,73	4.355,80	X-1AV	5.284,73	5.333,31	XL-2AV	6.644,17
	An Secc	5.062,26	XL-3AV	8.034,33	6.015,70	XL-3AV	8.034,33	6.993,20	XL-4AV	9.494,61
	S/E Secc	4.583,15	XC-2AV	8.142,15	5.749,59	XC-2AV	8.142,15	6.564,02	XCL-3AV	8.973,04
	Eje Secc	4.727,26	X-2AV	6.789,97	5.680,70	X-2AV	6.789,97	6.658,21	XL-3AV	8.034,33
	3 ménsulas	6.834,95	X-4AV	9.494,61	7.788,39	XL-4AV	9.494,61	8.765,90	XL-5AV	12.984,66
	3 ménsulas A/S	7.019,67	XL-5AV	12.984,66	8.186,10	XL-5AV	12.984,66	9.000,53	XL-6AV	14.858,21



Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)	Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)	Momento de vuelco (kg·m)	Poste	Momento admisible (kg·m)
--------------------------	-------	--------------------------	--------------------------	-------	--------------------------	--------------------------	-------	--------------------------

		Sin feeder			Con feeder - 380			Con feeder - 380 y + 280		
Curva 1200	Recta	3.466,69	X-1AV	5.284,73	5.030,34	X-2AV	6.789,97	6.505,06	XL-3AV	8.034,33
	Punto fijo	4.704,14	X-2AV	6.789,97	6.480,79	X-3AV	8.204,43	7.792,43	XL-4AV	9.494,61
	An PF	4.622,96	X-2AV	6.789,97	6.186,62	X-3AV	8.204,43	7.661,33	XL-4AV	9.494,61
	An Secc	6.914,49	XL-4AV	9.494,61	8.478,15	XL-5AV	12.984,66	9.952,86	XL-5AV	12.984,66
	S/E Secc	6.842,80	XC-3AV	9.143,14	8.619,45	XC-4AV	10.266,66	9.931,09	XCL-5AV	16.165,72
	Eje Secc	6.486,64	X-3AV	8.204,43	8.050,30	X-4AV	9.689,01	9.525,01	XL-5AV	12.984,66
	3 ménsulas	9.370,26	X-5AV	13.203,36	10.933,91	XL-5AV	12.984,66	12.408,63	XL-6AV	14.858,21
	3 ménsulas A/S	10.848,66	XL-6AV	14.858,21	12.625,31	XL-7AV	17.313,32	13.936,95	XL-7AV	17.313,32



Tabla 14.2. Selección de postes para los pórticos

P.P.K.K.	ESTACIÓN	LONGITUD (M)	Nº VÍAS	POSTE	MOMENTO MÁXIMO kgf·m	MOMENTO ADMISIBLE kgf·m
021+219	Medina	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
021+258	Medina	20	4	XL-6AV	11.000	14.858,21
021+876	Medina	21	4	XL-6AV	11.200	14.858,21
021+908	Medina	20	4	XL-6AV	11.000	14.858,21
021+930	Medina	20	4	XL-6AV	11.000	14.858,21
021+962	Medina	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
022+163	Medina	12	3	XL-5AV	6.300	12.984,66
022+226	Medina	19	4	XL-6AV	10.700	14.858,21
022+289	Medina	19	4	XL-6AV	10.700	14.858,21
022+348	Medina	9	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+460	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+514	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+572	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+630	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+688	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+745	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+860	Medina	11	3	XL-5AV	6.100	12.984,66
022+908	Medina	16	3	XL-6AV	7.500	14.858,21
022+914	Medina	8	2	XL-5AV	5.400	12.984,66
022+958	Medina	8	2	XL-5AV	5.400	12.984,66
023+008	Medina	15	3	XL-6AV	7.100	14.858,21
023+049	Medina	16	3	XL-6AV	7.500	14.858,21
023+080	Medina	17	3	XL-6AV	8.000	14.858,21
003+157	Intercambiador	13	3	XL-6AV	6.800	14.858,21
003+302	Intercambiador	8	2	XL-5AV	5.400	12.984,66
046+733	PB Nava	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
047+649	PB Nava	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
068+471	PAET Toro	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
069+137	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+137	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+173	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+210	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+806	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+842	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
069+879	PAET Toro	22	4	XL-6AV	11.500	14.858,21
070+545	PAET Toro	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
088+648	PB Coreses	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66
089+563	PB Coreses	12	2	XL-5AV	6.100	12.984,66



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

15. CÁLCULO DE CIMENTACIONES

CAPÍTULO 15

CÁLCULO DE CIMENTACIONES



15 CÁLCULO DE CIMENTACIONES

15.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En las instalaciones de catenaria los postes no se suelen montar directamente sobre el suelo, sino que lo hacen a través de cimentaciones de hormigón.

En vía convencional, estas cimentaciones denominadas macizos de fundación, tomaban forma de paralelepípedo o forma trapezoidal, en función de las características de la plataforma de vía. En alta velocidad estas cimentaciones son de forma cilíndrica, variando el diámetro y la altura de la cimentación en función del tipo de poste y, por tanto, del momento de vuelco a soportar. Los tamaños de las cimentaciones están normalizados para ciertos diámetros y diferentes alturas.

Si la plataforma de vía está en terreno llano o en trinchera se denominara macizo de fundación en desmonte y si la plataforma está en terraplén, es macizo de fundación en terraplén.

Existe también otro tipo de macizo muy utilizado y que se denomina macizo de anclaje, y es el que se utiliza como contrapeso en los anclajes de catenaria y puntos fijos de la línea.

La elección de un determinado tipo de macizo ya sea en desmonte, terraplén o de anclaje, se realiza en función de las cargas que deba soportar y del terreno que lo rodea. En aquellos casos especiales en que las cimentaciones no se pueden ajustar a las normalizadas se debe realizar un estudio concreto que determine las dimensiones de la cimentación a realizar.

15.2 CÁLCULO DE CIMENTACIONES

El método que se va a emplear para el calculo de las cimentaciones es el desarrollado por la U.I.C. en 1957 por medio de *l'Office de Recherches et Essais* en 1957, denominado método ORE [UIC 719 R: 1957].

ADIF, en la electrificación actual, ha basado sus cálculos en el método suizo, método IRSIA, con algunas variantes para adaptar los macizos a sus condiciones especiales, como es el caso de los terraplenes, cuyos taludes suelen ser muy fuertes.

Los macizos actuales de ADIF son utilizables en todo caso en la nueva electrificación de alta velocidad, no obstante, dado que los volúmenes de los macizos resultantes con el método de la ORE son menores y están perfectamente ensayados durante muchos años en todas las electrificaciones francesas, se calculan los macizos por este método.

Se describe en primer lugar el Método IRSIA muy brevemente, ya que el método ORE se basa en los mismos principios, para describir más ampliamente este último y el método de cálculo de los distintos macizos.



15.2.1 MÉTODO IRSIA

Esta investigación fue llevada a cabo por M. Ramelot (Director de la Sociedad Intercomunal Belga de Electricidad), M. Vandepierre (Profesor de la Universidad de Bruselas) y otros colaboradores, en 1950 [RAMELOT: 1950].

Realizaron más de un millar de ensayos, sobre un modelo reducido, para distintos tipos de macizos. Estos se llevaron a cabo en suelo pulverulento sin cohesión y uniformemente apisonado, con un ángulo de talud natural de 34° y una densidad aparente de $1450\text{-}1550 \text{ kgf/m}^3$. Los macizos se sometieron a esfuerzos de vuelco en ambos sentidos.

A partir de estos ensayos se obtuvo una fórmula empírica del momento resistente al vuelco:

$$M_B = (1 - E_p) \cdot (M_r)_p \quad (\text{Ec. 15.1})$$

Donde: $(M_r)_p$ es el momento resistente obtenido a partir de las características del terreno y del macizo en $[\text{kgf}\cdot\text{m}]$; $(1-E_p)$ es un coeficiente corrector de la parte superficial del terreno no resistente; y M_B es el momento límite a nivel del suelo en $[\text{kgf}\cdot\text{m}]$.

Según la ORE, estos resultados han sido obtenidos artificialmente, lo que trae como consecuencia que existan diferencias importantes con la realidad.

15.2.2 MÉTODO ORE

Los ensayos de la ORE se realizaron en 1957, con el objetivo de estudiar el comportamiento al vuelco de los macizos cilíndricos y paralelepíedicos, destinadas a soportar líneas de contacto.

Estos ensayos se realizaron sobre casos reales, en macizos aislados, solicitados principalmente a momentos de vuelco. Se llevaron a cabo en Francia, República Federal de Alemania y Gran Bretaña. En total se realizaron 233 ensayos.

La cimentación estudiada es solicitada por un momento (M), un esfuerzo vertical (N) y un esfuerzo horizontal (T). En función de las dimensiones de la cimentación, de las condiciones del terreno y del coeficiente de seguridad se define el límite de utilización de un macizo de dimensiones dadas.

Los ensayos han cubierto la siguiente gama de terrenos: mezclas de gravas, arcillas de varias dosificaciones, arena, terrenos naturales y grava gruesa. Se han ensayado en múltiples condiciones de temperatura y humedad y en terraplén, terreno plano y desmonte.

Las conclusiones obtenidas de los ensayos son:

- La naturaleza de los suelos no juega un papel preponderante salvo en casos extremos (roca, yeso, turba o arenas movedizas, por ejemplo).
- La configuración del terreno es muy importante, así como el lugar que la cimentación ocupa en él (distancia de implantación con relación a la vía y orientación del momento de vuelco).
- Cuando el momento límite se alcanza, la fundación es todavía perfectamente estable, no tiene tendencia a bascular.



- Las solicitaciones alternadas no influyen sobre el valor del momento límite (con reservas, se han analizado pocos casos).

En resumen, la capacidad resistente al vuelco viene dada por:

- Las dimensiones de la cimentación.
- Sentido del momento con relación a la vía.
- Configuración general del terreno.
- Peso específico del suelo.

El método de cálculo desarrollado por la ORE se basa en el propuesto por IRSIA, al que se le han introducido unos coeficientes correctores para paliar las deficiencias de este método, que se basa en ensayos en modelo reducido, y no tenía en cuenta otros factores reales.

El método es válido para todos los suelos con cohesión normal, y para todas las cimentaciones cilíndricas y paralelepípedas, excepto en los que respecta a los suelos especiales señalado anteriormente.

Con respecto al coeficiente de seguridad, se recomienda que éste tenga un valor de 3, es decir, que el resultado obtenido se divida por este valor para obtener el momento límite admisible.

El valor de la fuerza horizontal se considera despreciable y como ya se ha dicho, se dimensiona el vuelco, por lo que supone que el suelo admite las presiones que se le transmiten debido a que estas son muy reducidas. Sólo en terrenos especiales hay que considerar el efecto de éstas.

15.2.3 APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO ORE

Como se ha señalado, este método de cálculo ha partido de los resultados obtenidos en los ensayos reducidos realizados por IRSIA, a los que se les han aplicado algunas correcciones como consecuencia de los trabajos experimentales llevados a cabo por la ORE.

El método de cálculo, extraído de [UIC 719 R: 1957] y [RAMELOT: 1950], es el siguiente:

Partiendo de la fórmula empírica del momento resistente al vuelco del método IRSIA (Ec. 15.1):

$$M_{rp} = K_1 \cdot e \cdot N + K_2 \cdot A \cdot b \cdot h^3 \quad [\text{kgf} \cdot \text{m}] \quad (\text{Ec. 15.2})$$

Siendo:

$$K_1 = 0.5136 - \frac{0.175}{0.54 + \frac{b}{e}} \quad (\text{Ec. 15.3})$$

$$K_2 = 2.8 - \frac{96.5}{68.5 + 3375 \cdot \left(\frac{N}{10 \cdot A \cdot b \cdot e \cdot a} \right)^3} \cdot \left(1 + 0.45 \cdot \frac{e}{b} \right) \quad (\text{Ec. 15.4})$$



De los valores obtenidos, que son valores del método IRSIA, el método ORE deduce por sus experimentos que:

$$T \cdot H_{\text{Limite}} = K \cdot 27,45 \cdot M_B^{2/3} \quad (\text{Ec. 15.5})$$

$$(1 - E_p) = 3.44 \cdot \left(1 + \left(\frac{h_1}{h} \right)^3 \right) - 2.44 \cdot \sqrt{\left(1 + \left(\frac{h_1}{h} \right)^2 \right)^3} \quad (\text{Ec. 15.6})$$

Siendo:

- $T \cdot H_{\text{LIMITE}}$ = Momento límite ORE, debido a una fuerza horizontal (T) situada a una altura (H), es decir, máximo momento de vuelco que resiste el macizo. [kgf·m]
 - M_B = Momento límite obtenido según IRSIA. [kgf·m]
 - h = Altura del macizo. [m]
 - h_1 = Altura de terreno vegetal que no trabaja o terreno removido. [m]
 - e = Dimensión del macizo paralela al esfuerzo de vuelco. [m]
 - b = Dimensión del macizo perpendicular al esfuerzo de vuelco. [m]
 - a = El más pequeño de los valores "e" y "b". [m]
- (Para macizos cilíndricos se tomará: $e = b = a = 0.8d$ (d=diámetro))
- N = Carga vertical total (macizo, poste, etc.) [kgf]
 - A = Densidad del terreno. [kgf/m³]
 - $1 - E_p$ = Coeficiente de corrección para tener en cuenta la altura h_1 de terreno muerto.
 - K_1 = Coeficiente que tiene en cuenta las cargas verticales.
 - K_2 = Coeficiente que tiene en cuenta la profundidad de la cimentación.
 - K = Coeficiente corrector de la configuración del terreno y del sentido del momento, obtenido a partir de los ensayos ORE.

Se considera $K = 1.3$ en desmonte y $K = 1$ en terraplén.

A partir de este proceso es posible obtener el momento que es capaz de resistir un macizo de dimensiones dadas, cilíndrico o prismático, según su localización y sentido del momento.

La ORE recomienda adoptar un coeficiente de seguridad 3 y así se ha tenido en cuenta.

En el cálculo de los macizos de postes sólo se ha considerado la mitad del peso del macizo yendo así en el sentido de la seguridad.



En las tablas 15.2 y 15.4 se indican, para cada profundidad (h), con diámetro 75 cm o 100 cm, el cálculo de la resistencia de los macizos en terraplén y en desmante, con coeficiente de seguridad 3 en todos los casos.

15.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL MÉTODO ORE

A continuación se muestran los cálculos justificativos realizados mediante el método ORE para obtener la resistencia de los diferentes tipos de cimentación, macizos cilíndricos de diámetros 0,75 m y 1m.

15.2.4.1 Macizos cilíndricos de $d = 0,75$ m

Las características del macizo cilíndrico de $d = 0,75$ m están reflejadas en la Tabla 15.1

Tabla 15.1. Características macizos cilíndricos de $d=0,75$ m

D (m)	0,75
e (m)	0,6
b (m)	0,6
a (m)	0,6
A (kgf/m ³)	1800
h1 (m)	0,5

Tabla 15.2. Resultados momentos admisibles por las cimentaciones de macizos cilíndricos de $d=0,75$ m

							Coef seguridad 3	
h(m)	N/2 (kgf)	K1	K2	1-Ep	Mrp (kgf·m)	Mb (kgf·m)	M (kgf·m) Desmante	M (kgf·m) terraplén
2,0	1.038	0,40	1,75	0,82	15.335	12.597	6.440	4.954
2,1	1.090	0,40	1,82	0,84	18.472	15.444	7.377	5.674
2,2	1.142	0,40	1,89	0,85	22.027	18.699	8.573	6.446
2,3	1.194	0,40	1,96	0,86	26.019	22.385	9.666	7.268
2,4	1.246	0,40	2,02	0,87	30.467	26.523	10.823	8.138
2,5	1.298	0,40	2,08	0,88	35.391	31.132	12.043	9.055
2,6	1.350	0,40	2,13	0,89	40.806	36.231	13.325	10.019
2,7	1.402	0,40	2,18	0,90	46.731	41.837	14.666	11.027
2,8	1.453	0,40	2,23	0,90	53.182	47.968	16.066	12.080
2,9	1.505	0,40	2,27	0,91	60.174	54.640	17.523	13.175
3,0	1.557	0,40	2,31	0,91	67.724	61.870	19.037	14.313
3,1	1.609	0,40	2,35	0,92	75.848	69.674	20.606	15.493
3,2	1.661	0,40	2,38	0,92	84.561	78.068	22.229	16.714



15.2.4.2 Macizos cilíndricos de $d \neq 1,0$ m

Las características del macizo cilíndrico de $d = 1,0$ m están reflejadas en la Tabla 15.3

Tabla 15.3. Características macizos cilíndricos de $d=1,0$ m

D (m)	1
e (m)	0,8
b (m)	0,8
a (m)	0,8
A (kgf/m ³)	1800
h1 (m)	0,5

Tabla 15.4. Resultados momentos admisibles por las cimentaciones de macizos cilíndricos de $d=1,00$ m

							Coef seguridad 3	
h(m)	N/2 (kgf)	K1	K2	1-Ep	Mrp (kgf·m)	Mb (kgf·m)	M (kgf·m) Desmante	M (kgf·m) terraplén
2,0	1.846	0,40	1,34	0,82	15.987	13.133	6.774	5.093
2,1	1.938	0,40	1,40	0,84	19.278	16.117	7.765	5.838
2,2	2.030	0,40	1,46	0,85	23.068	19.582	8.841	6.648
2,3	2.123	0,40	1,52	0,86	27.395	23.569	10.004	7.522
2,4	2.215	0,40	1,59	0,87	32.298	28.117	11.253	8.461
2,5	2.307	0,40	1,65	0,88	37.815	33.265	12.587	9.464
2,6	2.399	0,40	1,71	0,89	43.980	39.048	14.007	10.531
2,7	2.492	0,40	1,77	0,90	50.825	45.502	15.510	11.662
2,8	2.584	0,40	1,82	0,90	58.382	52.658	17.097	12.855
2,9	2.676	0,40	1,87	0,91	66.680	60.547	18.764	14.109
3,0	2.769	0,40	1,93	0,91	75.747	69.199	20.512	15.422
3,1	2.861	0,40	1,97	0,92	85.609	78.641	22.338	16.795
3,2	2.953	0,40	2,02	0,92	96.291	88.898	24.240	18.226
3,3	3.045	0,40	2,06	0,93	107.818	99.997	26.218	19.713
3,4	3.138	0,40	2,11	0,93	120.212	111.961	28.269	21.255
3,5	3.230	0,40	2,15	0,93	133.497	124.813	30.393	22.852
3,6	3.322	0,40	2,18	0,94	147.694	138.578	32.589	24.503



15.2.5 SELECCIÓN DE CIMENTACIONES

En la tabla 15.5 se muestran las cimentaciones seleccionadas para cada tipo de poste:

Tabla 15.5. Selección de cimentaciones para cada tipo de poste existente

Selección de cimentaciones						
Poste	M _{adm} Poste (kgf·m)	D (m)	h(m) Desmonte	M _{adm} Cim. Des. (kgf·m)	h(m) Terraplén	M _{adm} Cim. Terr. (kgf·m)
X-1AV	5.833	0,75	2,0	6.440	2,2	6.446
X-2AV	7.448	0,75	2,2	8.841	2,4	8.138
X-3AV	8.972	0,75	2,3	9.666	2,5	9.055
X-4AV	10.566	0,75	2,4	10.823	2,7	11.027
X-5AV	14.190	1	2,7	15.510	3,0	15.422
X-6AV	16.198	1	2,8	17.097	3,1	16.795
X-7AV	18.787	1	3,0	20.512	3,3	19.713
XL-2AV	7.448	0,75	2,2	8.573	2,4	8.138
XL-3AV	8.972	0,75	2,3	9.666	2,5	9.055
XL-4AV	10.566	0,75	2,4	10.823	2,7	11.027
XL-5AV	14.190	1	2,7	15.510	3,0	15.422
XL-6AV	16.198	1	2,8	17.097	3,1	16.795
XL-7AV	18.787	1	3,0	20.512	3,3	19.713
XC-2AV	8.800	0,75	2,3	9.666	2,5	9.055
XC-3AV	9.911	0,75	2,4	10.823	2,6	10.019
XC-4AV	11.144	0,75	2,5	12.043	2,8	12.080
XC-5AV	17.371	1	2,9	18.764	3,2	18.226
XC-6AV	19.808	1	3,0	20.512	3,4	21.255
XCL-2AV	8.800	0,75	2,3	9.666	2,5	9.055
XCL-3AV	9.911	0,75	2,4	10.823	2,6	10.019
XCL-4AV	11.144	0,75	2,5	12.043	2,8	12.080
XCL-5AV	17.371	1	2,9	18.764	3,2	18.226
XCL-6AV	19.808	1	3,0	20.512	3,4	21.255
XCL-7AV	22.068	1	3,1	22.338	3,5	22.852



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

16. CUADERNO DE TRABAJO

CAPÍTULO 16

CUADERNO DE TRABAJO



16 CUADERNO DE TRABAJO

Una vez diseñados los elementos de sustentación de la catenaria, se replantea sobre el plano la instalación, obteniendo el cuaderno de trabajo.

El cuaderno de trabajo que se adjunta en el Anejo 1 muestra para cada Punto Kilométrico (P.K.) considerado en el proyecto, según los vanos adoptados en los diferentes tipos de tramo (Rectas y Curvas de diferentes Radios), el tipo de poste a instalar, a partir de la selección realizada en el capítulo 14.

El replanteo se realiza para los tramos de vía general (Vías 1 y 2) y para las vías adicionales que hay en estaciones, P.A.E.T. e Intercambiadores. Igualmente, se especifican los modelos de poste a implantar en los pórticos que se encuentran en los diferentes enclaves ferroviarios.

En dicho cuaderno de trabajo se especifica:

- Tipo de vía: si es vía general o en enclave ferroviario.
- Perfil. A cada poste se le adjudica un número de identificación, relacionándolo con el P.K. en el que se encuentra. De este modo, todos los postes tendrán un "nombre" con el que reconocerlo.
- P.K. de vía general en el que se encuentra el poste
- Poste: Modelo de poste según los especificados en los capítulos 13 y 14
- Observaciones: Se pueden reflejar diferentes características del poste como:
 - Tipo de poste:
 - A/S = Anclaje de Seccionamiento
 - SE = Semieje
 - E = Eje de Seccionamiento
 - AnPF = Anclaje de Punto Fijo
 - PF = Punto fijo
 - P** = Aguja Aérea
 - Tipo de Infraestructura sobre el que se asienta: Viaducto, túnel, puente, etc.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

17. PRESUPUESTO

CAPÍTULO 17

PRESUPUESTO



17 PRESUPUESTO

Debido a que el proyecto de electrificación de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Galicia, en su tramo Olmedo-Zamora, se encuentra en fase de ejecución, no se ha podido disponer de las mediciones necesarias para el cálculo de un presupuesto detallado de la instalación de catenaria para el tramo de estudio realizado (mediante el programa Sispre o Presto).

A partir de los datos económicos de otros proyectos de similares características, se ha obtenido el coste de un kilómetro de catenaria de alta velocidad para diferentes trazados y obras de fábrica, y de este modo, obtener un presupuesto estimado del equipamiento completo de la línea aérea de contacto del tramo Olmedo-Zamora.

A continuación se muestran los precios unitarios para las diferentes configuraciones de vía posible y el presupuesto de ejecución material de todo el tramo.

17.1 PRECIOS UNITARIOS

Se diferencia entre:

- Vía general doble en tramo recto
- Vía general doble en viaducto
- Vía general doble en túnel monotubo
- Puesto de Banalización (PB).
- Puesto de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (PAET).

Para vía general doble los precios unitarios se especifican en la Tabla 17.1.

Tabla 17.1. Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble

VÍA GENERAL DOBLE		
Código	Resumen	Precio [€]
1	POSTES	60.872,24
2	CIMENTACIONES	27.898,40
3	EQUIPOS	55.554,30
4	CATENARIA	69.361,25
5	FEEDERS Y RETORNO	41.469,78
6	PROTECCIONES Y SEÑALIZACIÓN	8.657,64
TOTAL PRECIO POR KM DE L.A.C.		257.630,48

Se entiende por Catenaria (Código 4) al conjunto de Hilo de Contacto y Sustentador, y los Equipos (Código 3) consisten en las ménsulas y en los equipos de atirantado y compensación.



En el caso de vía general doble en viaducto (tabla 17.2), se entiende por cimentaciones a los anclajes metálicos de los postes sobre el viaducto

Tabla 17.2. Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble en Viaducto

VÍA GENERAL DOBLE EN VIADUCTO		
Código	Resumen	Precio [€]
1	POSTES	60.872,24
2	CIMENTACIONES	32.479,48
3	EQUIPOS	55.554,30
4	CATENARIA	69.361,25
5	FEEDERS Y RETORNO	41.469,78
6	PROTECCIONES Y SEÑALIZACIÓN	15.391,70
TOTAL PRECIO POR KM DE L.A.C.		268.680,42

En los túneles (tabla 17.3), la catenaria va anclada a la bóveda del túnel por lo que no hay postes y, por tanto, no son necesarias las cimentaciones.

Tabla 17.3. Precio kilómetro de catenaria en Vía General Doble en Túnel Monotubo

VÍA GENERAL DOBLE EN TÚNEL MONOTUBO		
Código	Resumen	Precio [€]
3	EQUIPOS	129.826,04
4	CATENARIA	80.244,39
5	FEEDERS Y RETORNO	72.035,63
6	PROTECCIONES Y SEÑALIZACIÓN	33.975,69
TOTAL PRECIO POR KM DE L.A.C.		308.673,58

En el caso de los Puestos de Banalización (Tabla 17.4) y de los Puestos de Adelantamiento y Estacionamiento de Trenes (Tabla 17.5) es necesario añadir el coste del sistema de alimentación de los cambios de aguja (Código 8)

Tabla 17.4. Precio kilómetro de catenaria en Puesto de Banalización

PUESTO DE BANALIZACIÓN		
Código	Resumen	Precio [€]
1	POSTES	200.801,32
2	CIMENTACIONES	58.029
3	EQUIPOS	167.655,83
4	CATENARIA	182.814,59
5	FEEDERS Y RETORNO	66.930,30
6	PROTECCIONES Y SEÑALIZACIÓN	11.696,97
7	ALIMENTACIONES	37.338,78
TOTAL PRECIO UNIDAD L.A.C.		725.266,79



Tabla 17.5. Precio kilómetro de catenaria en P.A.E.T.

PUESTO DE ADELANTAMIENTO Y ESTACIONAMIENTO		
Código	Resumen	Precio [€]
1	POSTES	807.748,02
2	CIMENTACIONES	117.869,36
3	EQUIPOS	321.826,45
4	CATENARIA	317.153,66
5	FEEDERS Y RETORNO	117.181,32
6	PROTECCIONES Y SEÑALIZACIÓN	27.167,48
7	ALIMENTACIONES	67.235,20
TOTAL PRECIO UNIDAD L.A.C.		1.776.181,49



17.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

A continuación se muestra el presupuesto de ejecución material aproximado para el tramo Olmedo-Zamora, desglosado en función de los diferentes tipos de infraestructura ferroviaria que se encuentran a lo largo de todo el trazado.

	Unidad [km]	Precio [€]	TOTAL [€]
VÍA GENERAL DOBLE	88,00	257.630,48	22.671.482,24
VÍA GENERAL DOBLE EN VIADUCTO	7,17	268.680,42	1.926.438,61
VÍA GENERAL DOBLE EN TÚNEL	0,00	308.673,58	0,00
PUESTO DE BANALIZACIÓN	3,02	725.266,79	2.190.305,71
PUESTO DE ADELANTAMIENTO Y ESTACIONAMIENTO	5,19	1.776.181,49	9.218.381,93

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL L.A.C. DEL TRAMO	36.006.608,49
---	----------------------

El coste medio de un kilómetro de catenaria para los 103,4 km del tramo es:

COSTE MEDIO POR KILÓMETRO (LAC)	348.293,76 €/km
--	------------------------



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

*18. CONCLUSIONES Y PROPUESTA
DE TRABAJOS FUTUROS*

CAPÍTULO 18

CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE TRABAJOS FUTUROS



18. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE TRABAJOS FUTUROS.

El estudio del "estado del arte" de la catenaria de alta velocidad en los primeros capítulos ha permitido adquirir una visión panorámica de esta tecnología, comprendiendo su composición y funcionamiento. Se han podido observar todos los factores que influyen en el diseño mecánico de la línea aérea de contacto y que hacen que cada instalación de catenaria sea única. Se han descrito todos los elementos necesarios para construir este "mecano" multidisciplinar (requiere conocimientos y estudios eléctricos, mecánicos, medioambientales y reglamentarios), permitiendo comprender, desde el punto de vista mecánico, el objeto fundamental de su diseño: mantener el contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto de forma uniforme, sin interrupciones y con presiones de contacto no muy elevadas para evitar el desgaste acelerado de la línea, teniendo en cuenta que la catenaria alimenta trenes de 20.000 KVA a velocidades de 350 km/hora.

El tramo Olmedo-Zamora, pertenece a la Línea de Alta Velocidad, en fase de construcción, Madrid – Olmedo – Galicia, cuyo trazado está diseñado de acuerdo con las especificaciones técnicas de interoperabilidad de la Unión Europea para líneas ferroviarias de alta velocidad. Estas especificaciones, junto con las normativas vigentes de AENOR, RENFE y UIC, referentes a la alta velocidad ferroviaria, han definido todos y cada uno de los componentes mecánicos y eléctricos de la catenaria.

Mediante el diseño mecánico de la catenaria se pretende construir una instalación resistente a las desavenencias meteorológicas y a los esfuerzos generados por los elementos que la forman, ya sean debidos al propio peso de los componentes como a los esfuerzos inducidos por el atirantado o la compensación mecánica de la catenaria. Para ello siempre se ha efectuado un posicionamiento desde el lado de la seguridad, considerando siempre el caso más desfavorable posible.

El procedimiento de cálculo aplicado se asemeja a un mecanismo bidimensional formado por barras y apoyos empotrados, y es la siguiente:

- 1º. *Conocer dónde están los apoyos:* En función del trazado del tramo se ha determinado a que distancia deben estar situados los postes y cómo se ubican los seccionamientos y los cantones.
- 2º. *Determinar las fuerzas que actúan entre los apoyos:* Para cada tipo de cable se han calculado las fuerzas actuantes (viento, peso, atirantado, etc.).
- 3º. *Calcular los momentos en los apoyos:* Se han calculado los momentos de vuelco que generan los cables sobre los postes y que tienden a volcarlos en el eje transversal a la vía, en un sentido u otro en función del caso.
- 4º. *Calcular la resistencia de los apoyos:* Como primer paso, se ha calculado el momento resistente de los diferentes tipos de postes normalizados, formados por perfiles UPN, para posteriormente seleccionar el más apropiado para cada tipo de configuración posible. En segundo lugar, en función del poste seleccionado se ha calculado el tipo de cimentación más adecuada mediante el método ORE.



El replanteo de la catenaria queda reflejado en el cuaderno de trabajo, mostrándose, para cada Punto Kilométrico (P.K.) considerado en el proyecto, el tipo de poste a instalar a partir de la selección realizada mediante los cálculos mecánicos.

El presupuesto de ejecución material obtenido para el tramo de estudio refleja lo costoso que resulta la construcción de una línea de alta velocidad, obteniéndose un coste medio por kilómetro de catenaria de 348.293,76 €/km. Debido a los elevados coeficientes de seguridad con los que se diseña la catenaria, la durabilidad de los elementos que la componen es elevada y, por tanto, los costes derivados del mantenimiento (preventivo y correctivo) son relativamente bajos.

Como conclusión final, se ha logrado dimensionar un tramo completo de catenaria de alta velocidad con un grado de seguridad elevado, mediante un procedimiento de cálculo detallado, basado en la metodología seguida en otros proyectos de las mismas características y que tan buenos resultados a dado.

Se considera oportuno remarcar las posibles mejoras a introducir en el modelo de cálculo desarrollado en el presente proyecto de cara a conseguir un mayor grado de detalle.

- Considerar el peso de las ménsulas, de las péndolas y de los conjuntos de atirantado para el cálculo de los momentos de vuelco sobre los postes. No se tuvo en cuenta a la hora de realizar los cálculos porque los momentos de vuelco que generan sobre los postes son de un orden de magnitud inferior a los producidos por las fuerzas que actúan sobre los cables (peso, viento, atirantado y compensación)
- Realizar el cálculo dinámico de resistencia a la fatiga de los componentes de la catenaria sometidos a mayores solicitaciones. Se toman como valores de referencia los reflejados en las normativas de aplicación (AENOR, RENFE, UIC), indicando la vida útil y los periodos de revisión o de sustitución.
- Dimensionamiento mecánico de los pórticos mediante un programa de cálculo de estructuras (cómo el CYPE)

Como trabajo futuro, se podría realizar un estudio de las péndolas, dimensionándolas en función de los diferentes tipos de vanos y de las condiciones atmosféricas. Hay que recordar que las péndolas son los elementos encargados de sostener a los hilos de contacto en su posición de trabajo, otorgándoles la uniformidad mecánica necesaria para mantener el contacto constante con el pantógrafo. Es por ello que su diseño requiere de herramientas informáticas de gran precisión para evitar que los condicionantes constructivos y atmosféricos mermen la instalación.

Se vuelve a remarcar que el procedimiento de cálculo seguido en el presente proyecto se ciñe estrictamente al utilizado en la práctica para el diseño mecánico de catenarias de alta velocidad. Las mejoras mencionadas anteriormente, si bien supondrían un diseño más exacto, no variarían sustancialmente los resultados y requieren de un procedimiento de cálculo mucho más laborioso, que necesita de más medios y, lo más importante, de mucho más tiempo.



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

19. BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 19

BIBLIOGRAFÍA



19. BIBLIOGRAFÍA

19.1 NORMAS

- [UNE-EN-10279] AENOR. *Perfiles en U de Acero laminado en caliente. Tolerancias dimensionales, de la forma y de la masa*. UNE-EN-10279. Madrid: AENOR, 2001.
- [UNE-EN-13803] AENOR. *Aplicaciones ferroviarias. Vía. Parámetros de proyecto del trazado de la vía. Anchos de vía de 1 435 mm y mayores*. UNE-EN-13803. Madrid: AENOR, 2008.
- [UNE-EN-36522] AENOR. *Productos de acero. Perfil U Normal (UPN). Medidas y tolerancias*. UNE-EN-36522. Madrid: AENOR, 1972.
- [UNE-EN-50119] AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones Fijas. Línea Aérea de Contacto para Tracción Eléctrica*. UNE-EN-50119. Madrid: AENOR, 2002.
- [UNE-EN-50123] AENOR. *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Aparata de corriente continua*. UNE-EN-50123. Madrid: AENOR, 2007.
- [UNE-EN-50122] AENOR. *Protecciones*. UNE-EN-50122. Madrid: AENOR, 2004.
- [UNE-EN-50124] AENOR. *Coordinación de Aislamiento*. UNE-EN-50124. Madrid: AENOR, 2003.
- [UNE-EN-50125] AENOR. *Condiciones Medioambientales*. UNE-EN-50125. Madrid: AENOR, 2005.
- [UNE-EN-50149] AENOR. *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Tracción eléctrica. Cables de contacto acanalado de cobre y de aleación de cobre*. UNE-EN-50149. Madrid: AENOR, 2007.
- [UNE-EN-50152] AENOR. *Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Requisitos particulares para aparata de corriente alterna*. UNE-EN-50152. Madrid: AENOR, 2007.
- [UNE-EN-50163] AENOR. *Suministro de Tensión a Instalaciones de Tracción*. UNE-EN-50163. Madrid: AENOR, 2006.
- [UNE-EN-50367] AENOR. *Interacción Dinámica entre Catenaria y Pantógrafo*. UNE-EN-50367. Madrid: AENOR, 2008.



- [**UNE-EN-60672**] AENOR. *Materiales aislantes de cerámica y de vidrio*. UNE-EN-60672. Madrid: AENOR, 2008.
- [**UIC-505-1**] UIC (Union Internationale des Chemins de Fer - Unión Internacional de Ferrocarriles). *Contorno de referencia del gálibo cinemático*. UIC-505-1. Paris (Francia): UIC, 2000.
- [**UIC 505-4**] UIC. *Gálibo de implantación de obstáculos*. Ficha UIC 505-4. Paris (Francia): UIC, 2000.
- [**UIC 506 OR**] UIC. *Galibos*. UIC 506 OR. Paris (Francia): UIC, 2000
- [**UIC 606-1 OR**] UIC. *Distancias mínimas de seguridad*. UIC 606-1 OR. Paris (Francia): UIC, 2000
- [**UIC 719 R**] UIC. *Cálculo de cimentaciones*. UIC 719 R. Paris (Francia): UIC, 1957
- [**UIC 799 OR**] UIC. *Separación entre péndolas*. UIC 799 OR- 57 H. Paris (Francia): UIC, 2000.
- [**2002/732/CE**] Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI). Infraestructura*. Decisión 2002/732/CE. DO L 245. Luxemburgo: Diario Oficial de la Unión Europea, 2002.
- [**2002/733/CE**] Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI). Energía*. Decisión 2002/733/CE. DO L 245. Luxemburgo: Diario Oficial de la Unión Europea, 2002.
- [**2002/735/CE**] Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. *Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI). Material Rodante*. Decisión 2002/735/CE. DO L 245. Luxemburgo: Diario Oficial de la Unión Europea, 2002.
- [**N.R.V. 1.2.6.0**] RENFE. *Estructuras Metálicas*. N.R.V. 1-2-6.0. 1ª Edición. Madrid: Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, 1982.
- [**N.R.V. 3.6.0.0**] RENFE. *Desvíos. Descripción General*. N.R.V. 3.6.0.0. Madrid: Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, 1991.
- [**N.R.V. 7.3.0.0**] RENFE. *Instrucción técnica: Galibo de la Red*. Madrid: RENFE, Diciembre de 1985.
- [**N.R.E. L.A.C. nº 1**] RENFE. *Normas de montaje de las Grifas de Conexión y Empalme para Catenaria*. N.R.E. L.A.C. nº 1. Madrid: Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, 1992.



[N.R.E. L.A.C. nº 6] RENFE. *Norma de ejecución de los macizos de Postes y de Anclajes para la Línea Aérea de Contacto*. N.R.E. L.A.C. nº 6. Madrid: Mantenimiento de Infraestructura de RENFE, 1995.

[NBE-EA-95] MINISTERIO DE FOMENTO. *Estructuras de acero en edificación*. NBE-EA-95. Madrid, 1995.

19.2 LIBROS

[ADIF, 2005] ADIF (ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS). *"Libro Línea Aérea de Contacto CR 160 / CR 220"*. Madrid: ADIF Servicio de Publicaciones, Octubre 2005. 1380 p.

[CAYÓN, 1998] CAYÓN GARCÍA, Francisco; GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Rafael; MUÑOZ RUBIO, Miguel. "El Camino del Tren. 150 años de Historia de Infraestructura Ferroviaria". Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 1998. 198 p

[F.F.E., 1995] FUNDACIÓN DE LOS FERROCARRILES ESPAÑOLES. *"Del Vapor al AVE (II)"*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 1995. 189 p

[MONT., 2002] MONTESINOS ORTUÑO, Jesús (Aut.); CARMONA SUÁREZ, Manuel. (Aut.) *"Tecnología de Catenaria"*. 1ª Edición. Madrid: Mantenimiento de Infraestructuras de RENFE, 2002. 320p

[OLIVER., 1980] OLIVEROS RIVES, Fernando (Aut); RODRÍGUEZ MÉNDEZ (Aut), Manuel; MEGIA PUENTE, Manuel (Aut). *"Tratado de Ferrocarriles II. Ingeniería Civil e Instalaciones"*. Madrid: Editorial Rueda, 1980. 1173 p.

[RAMELOT, 1950] RAMELOT, C. (Aut) ,VANDEPERRE, L. (Aut) 1950. *«Les foundations de pylones électriques: leur resistance au reversement, leur stabilité, leur calcul etude experimentale»*. Paris (Francia): Comptes Rendus, Académie des Sciences, 1950

19.3 ARTÍCULOS EN PUBLICACIONES ELECTRÓNICAS

[ADIF, 2008] ADIF (ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS). "Conceptos Ferroviarios". *Temario Personal operativo ADIF* [en línea] 2007 - 2008. Disponible en:
http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/oferta_de_empleo_publico/Empleo_publico_00088.shtml [consulta: 30 de Mayo]

[HERNDZ. 2007] HERNÁNDEZ VELILLA, Agustín; "Las catenarias de alta velocidad". *Anales de Mecánica y Electricidad. Revista de la Asociación de Ingenieros de I.C.A.I.* [en línea] Enero – Febrero 2007. Disponible en:

<https://www.icaei.es/publicaciones/index.php?fascic=I&anyo=2007> [consulta: 9 de Mayo de 2010]

- [RUANO, 2007] RUANO GÓMEZ, Arantzazu. "Las líneas de Alta Velocidad frente a las convencionales. Adaptación de las líneas convencionales a Velocidad Alta". *Treballs Acadèmics UPC (Universitat Politècnica de Catalunya)* [en línea] 2007. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/5938> [consulta: 12 de Abril de 2010]

19.4 PROYECTOS CONSTRUCTIVOS

- [SEMELCO, 2005] SEMELCO (UTE SEMI – COBRA – ELECNOR). "Proyecto Constructivo de la Línea Aérea de Contacto y Sistemas Asociados para la Línea de Alta Velocidad entre Madrid y Barcelona. Tramo: Madrid-Roda de Bará". Madrid: ADIF, 2005

19.5 PAGINAS WEB

- [FERROPEDIA] FERROPEDIA, *La Alta Velocidad Española*. [en línea]. Disponible en: http://ferrocarriles.wikia.com/wiki/L%C3%ADneas_de_Alta_Velocidad_en_Espa%C3%B1a [Consulta 10 de febrero de 2010]
- [TRENK] TRENK. *La Catenaria RENFE CR160 para TRAINZ*. [en línea]. Disponible en: http://www.trenk.com/putxera/Trainzeskola_catenaria_renfe.htm [Consulta: 5 de junio de 2010]
- [VIALIBRE] VIALIBRE. Hemeroteca. Reseña de Publicaciones. [en línea]. Disponible en: http://www.vialibre.org/indice_art.asp?cs=publ#4 [Consulta: 12 de junio de 2010]



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA
CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA.
TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1.
CUADERNO DE TRABAJO

ANEJO 1

CUADERNO DE TRABAJO



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
ENLACE LAV MADRID- VALLADOLID - LAV OLMEDO ZAMORA	1							2						
	1							2						
	1	12-1	012+029	64	X-1AV			2	12-2	012+029	64	X-1AV		
	1	12-3	012+093	64	X-1AV			2	12-4	012+093	64	X-1AV		
	1	12-5	012+157	64	X-1AV			2	12-6	012+157	64	X-1AV		
	1	12-7	012+221	64	X-1AV			2	12-8	012+221	64	X-1AV		
	1	12-9	012+285	64	XL-3AV	A/S (CP)	1280	2	12-10	012+285	64	XL-3AV	A/S (CP)	1280
	1	12-11	012+349	64	XC-2AV	SE		2	12-12	012+349	64	XC-2AV	SE	
	1	12-13	012+413	64	X-2AV	E		2	12-14	012+413	64	X-2AV	E	
	1	12-15	012+477	64	XC-2AV	SE		2	12-16	012+477	64	XC-2AV	SE	
	1	12-17	012+541	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	12-18	012+541	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	12-19	012+605	64	X-1AV			2	12-20	012+605	64	X-1AV		
	1	12-21	012+669	64	X-1AV			2	12-22	012+669	64	X-1AV		
	1	12-23	012+733	64	X-1AV			2	12-24	012+733	64	X-1AV		
	1	12-25	012+797	64	X-1AV	viaducto		2	12-26	012+797	64	X-1AV	viaducto	
	1	12-27	012+861	64	X-1AV	AnPF - viaducto		2	12-28	012+861	64	X-1AV	AnPF - viaducto	
	1	12-29	012+925	64	X-1AV	PF - viaducto	640	2	12-30	012+925	64	X-1AV	PF - viaducto	640
	1	12-31	012+989	64	X-1AV	AnPF		2	12-32	012+989	64	X-1AV	AnPF	
	1	13-1	013+053	64	X-1AV			2	13-2	013+053	64	X-1AV		
	1	13-3	013+117	64	X-1AV			2	13-4	013+117	64	X-1AV		
	1	13-5	013+181	64	X-1AV			2	13-6	013+181	64	X-1AV		
	1	13-7	013+245	64	X-1AV			2	13-8	013+245	64	X-1AV		
	1	13-9	013+309	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	13-10	013+309	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	13-11	013+373	64	XC-2AV	SE		2	13-12	013+373	64	XC-2AV	SE	
	1	13-13	013+437	64	X-2AV	E		2	13-14	013+437	64	X-2AV	E	
	1	13-15	013+501	64	XC-2AV	SE		2	13-16	013+501	64	XC-2AV	SE	
	1	13-17	013+565	64	XL-3AV	A/S (CP)	1280	2	13-18	013+565	64	XL-3AV	A/S (CP)	1280
	1	13-19	013+629	64	X-1AV			2	13-20	013+629	64	X-1AV		
	1	13-21	013+693	64	X-1AV			2	13-22	013+693	64	X-1AV		
	1	13-23	013+757	60	X-1AV			2	13-24	013+757	60	X-1AV		
	1	13-25	013+817	60	X-1AV			2	13-26	013+817	60	X-1AV		
	1	13-27	013+877	60	X-1AV	AnPF	628	2	13-28	013+877	60	X-1AV	AnPF	628
	1	13-29	013+937	60	X-1AV	PF		2	13-30	013+937	60	X-1AV	PF	
	1	13-31	013+997	60	X-1AV	AnPF	620	2	13-32	013+997	60	X-1AV	AnPF	620
	1	14-1	014+057	60	X-1AV			2	14-2	014+057	60	X-1AV		
	1	14-3	014+117	60	X-1AV			2	14-4	014+117	60	X-1AV		
	1	14-5	014+177	60	X-1AV			2	14-6	014+177	60	X-1AV		
	1	14-7	014+237	64	X-1AV			2	14-8	014+237	64	X-1AV		
POZAL DE GALLINAS	1	14-9	014+301	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	14-10	014+301	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	14-11	014+365	64	XC-2AV	SE		2	14-12	014+365	64	XC-2AV	SE	
	1	14-13	014+429	64	X-2AV	E		2	14-14	014+429	64	X-2AV	E	
	1	14-15	014+493	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	14-16	014+493	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	14-17	014+557	64	XL-3AV	A/S (CP)	1248	2	14-18	014+557	64	XL-3AV	A/S (CP)	1248
	1	14-19	014+621	64	X-1AV	AnPF		2	14-20	014+621	64	X-1AV	AnPF	
	1	14-21	014+685	64	X-1AV	PF	384	2	14-22	014+685	64	X-1AV	PF	384
	1	14-23	014+749	64	X-1AV	AnPF		2	14-24	014+749	64	X-1AV	AnPF	
	1	14-25	014+813	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	14-26	014+813	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	14-27	014+877	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	14-28	014+877	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	14-29	014+941	64	X-2AV	E		2	14-30	014+941	64	X-2AV	E	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón		VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
SE	1	15-1	015+005	64	XC-2AV	SE		2	15-2	015+005	64	XC-2AV	SE		
	1	15-3	015+069	64	XL-3AV	A/S (CP)	768	2	15-4	015+069	64	XL-3AV	A/S (CP)		768
	1	15-5	015+133	64	X-1AV			2	15-6	015+133	64	X-1AV			
	1	15-7	015+197	64	X-1AV			2	15-8	015+197	64	X-1AV			
S - ESTACIÓN DE MEDINA DEL CAMPO	1	15-9	015+261	64	X-1AV			2	15-10	015+261	64	X-1AV			
	1	15-11	015+325	64	X-1AV			2	15-12	015+325	64	X-1AV			
	1	15-13	015+389	62	X-1AV	AnPF	638	2	15-14	015+389	62	X-1AV	AnPF		638
	1	15-15	015+451	60	X-1AV	PF		2	15-16	015+451	60	X-1AV	PF		
	1	15-17	015+511	60	X-1AV	AnPF	620	2	15-18	015+511	60	X-1AV	AnPF		620
	1	15-19	015+571	60	X-1AV			2	15-20	015+571	60	X-1AV			
	1	15-21	015+631	60	X-1AV			2	15-22	015+631	60	X-1AV			
	1	15-23	015+691	60	X-1AV			2	15-24	015+691	60	X-1AV			
	1	15-25	015+751	64	X-1AV			2	15-26	015+751	64	X-1AV			
	1	15-27	015+815	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+222	2	15-28	015+815	64	XL-3AV	A/S (CP)		001+222
	1	15-29	015+879	64	XC-2AV	SE		2	15-30	015+879	64	XC-2AV	SE		
	1	15-31	015+943	64	X-2AV	E		2	15-32	015+943	64	X-2AV	E		
	1	16-1	016+007	64	XC-2AV	SE		2	16-2	016+007	64	XC-2AV	SE		
	1	16-3	016+071	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+258	2	16-4	016+071	64	XL-3AV	A/S (CP)		001+258
	1	16-5	016+135	64	X-1AV			2	16-6	016+135	64	X-1AV			
	1	16-7	016+199	64	X-1AV			2	16-8	016+199	64	X-1AV			
	1	16-9	016+263	64	X-1AV			2	16-10	016+263	64	X-1AV			
	1	16-11	016+327	64	X-1AV			2	16-12	016+327	64	X-1AV			
	1	16-13	016+391	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	16-14	016+391	64	X-1AV	AnPF		000+640
	1	16-15	016+455	64	X-1AV	PF		2	16-16	016+455	64	X-1AV	PF		
	1	16-17	016+519	64	X-1AV	AnPF	000+582	2	16-18	016+519	64	X-1AV	AnPF		000+582
	1	16-19	016+583	64	X-1AV			2	16-20	016+583	64	X-1AV			
	1	16-21	016+647	64	X-1AV			2	16-22	016+647	64	X-1AV			
	1	16-23	016+711	64	X-1AV			2	16-24	016+711	64	X-1AV			
	1	16-25	016+775	60	X-1AV			2	16-26	016+775	60	X-1AV			
	1	16-27	016+835	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+222	2	16-28	016+835	50	XL-3AV	A/S (CP)		001+222
	1	16-29	016+885	52	XC-2AV	SE		2	16-30	016+885	52	XC-2AV	SE		
	1	16-31	016+937	50	X-2AV	E		2	16-32	016+937	50	X-2AV	E		
	1	16-33	016+987	50	XC-2AV	SE		2	16-34	016+987	50	XC-2AV	SE		
	1	17-1	017+037	52	XL-3AV	A/S (CP)	001+222	2	17-2	017+037	52	XL-3AV	A/S (CP)		001+222
	1	17-3	017+089	60	X-1AV			2	17-4	017+089	60	X-1AV			
	1	17-5	017+149	62	X-1AV			2	17-6	017+149	62	X-1AV			
	1	17-7	017+211	64	X-1AV			2	17-8	017+211	64	X-1AV			
	1	17-9	017+275	64	X-1AV			2	17-10	017+275	64	X-1AV			
	1	17-11	017+339	64	X-1AV			2	17-12	017+339	64	X-1AV			
	1	17-13	017+403	64	X-1AV	AnPF	000+632	2	17-14	017+403	64	X-1AV	AnPF		000+632
	1	17-15	017+467	64	X-1AV	PF		2	17-16	017+467	64	X-1AV	PF		
	1	17-17	017+531	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	17-18	017+531	64	X-1AV	AnPF		000+640
	1	17-19	017+595	64	X-1AV			2	17-20	017+595	64	X-1AV			
	1	17-21	017+659	64	X-1AV			2	17-22	017+659	64	X-1AV			
	1	17-23	017+723	64	X-1AV			2	17-24	017+723	64	X-1AV			
	1	17-25	017+787	64	X-1AV			2	17-26	017+787	64	X-1AV			
	1	17-27	017+851	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	17-28	017+851	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1	17-29	017+915	64	XC-2AV	SE		2	17-30	017+915	64	XC-2AV	SE		
	1	17-31	017+979	64	X-2AV	E		2	17-32	017+979	64	X-2AV	E		



VIAS 1 Y 2

SE POZAL DE GALLINA	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
	1	18-1	018+043	64	XC-2AV	SE		2	18-2	018+043	64	XC-2AV	SE	
	1	18-3	018+107	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+272	2	18-4	018+107	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+272
	1	18-5	018+171	64	X-1AV			2	18-6	018+171	64	X-1AV		
	1	18-7	018+235	64	X-1AV			2	18-8	018+235	64	X-1AV		
	1	18-9	018+299	64	X-1AV			2	18-10	018+299	64	X-1AV		
	1	18-11	018+363	64	X-1AV			2	18-12	018+363	64	X-1AV		
	1	18-13	018+427	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	18-14	018+427	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	18-15	018+491	64	X-1AV	PF		2	18-16	018+491	64	X-1AV	PF	
	1	18-17	018+555	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	18-18	018+555	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	18-19	018+619	64	X-1AV			2	18-20	018+619	64	X-1AV		
	1	18-21	018+683	64	X-1AV			2	18-22	018+683	64	X-1AV		
	1	18-23	018+747	64	X-1AV			2	18-24	018+747	64	X-1AV		
	1	18-25	018+811	64	X-1AV			2	18-26	018+811	64	X-1AV		
	1	18-27	018+875	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	18-28	018+875	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	18-29	018+939	64	XC-2AV	SE		2	18-30	018+939	64	XC-2AV	SE	
	1	19-1	019+003	64	X-2AV	E		2	19-2	019+003	64	X-2AV	E	
	1	19-3	019+067	64	XC-2AV	SE		2	19-4	019+067	64	XC-2AV	SE	
	1	19-5	019+131	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	19-6	019+131	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	19-7	019+195	64	X-1AV			2	19-8	019+195	64	X-1AV		
	1	19-9	019+259	64	X-1AV	viaducto		2	19-10	019+259	64	X-1AV	viaducto	
	1	19-11	019+323	64	X-1AV	viaducto		2	19-12	019+323	64	X-1AV	viaducto	
	1	19-13	019+387	64	X-1AV	AnPF - viaducto	000+576	2	19-14	019+387	64	X-1AV	viaducto	
	1	19-15	019+451	64	X-1AV	PF - viaducto		2	19-16	019+451	64	X-1AV	AnPF - viaducto	000+640
	1	19-17	019+515	64	X-1AV	AnPF - viaducto	000+576	2	19-18	019+515	64	X-1AV	PF - viaducto	
	1	19-19	019+579	64	X-1AV			2	19-20	019+579	64	X-1AV		000+640
	1	19-21	019+643	64	X-1AV			2	19-22	019+643	64	X-1AV	AnPF	
	1	19-23	019+707	64	X-1AV			2	19-24	019+707	64	X-1AV		
	1	19-25	019+771	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	19-26	019+771	64	X-1AV		
	1	19-27	019+835	64	XC-2AV	SE		2	19-28	019+835	64	X-1AV		
	1	19-29	019+899	64	X-2AV	E		2	19-30	019+899	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	19-31	019+963	64	XC-2AV	SE		2	19-32	019+963	64	XC-2AV	SE	
	1	20-1	020+027	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	20-2	020+027	64	X-2AV	E	
	1	20-3	020+091	64	X-1AV			2	20-4	XC-2AV	64	SE		
	1	20-5	020+155	64	X-1AV			2	20-6	020+155	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+28



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
ESTACIÓN DE MEDINA DEL CAMPO	1	21-5.1	021+132	44	XCL-3AV	PE-PA (CP) (hilo VIA 3)		2	21-6.2	021+132	44	XCL-3AV	A/S (CP)-PE	001+233
	1	21-7.1	021+176	43	XCL-3AV	PE - PA Dg 2 (CP) - AnPF	000+424	2	21-8.2	021+176	43	XC-2AV	PE	
	1	21-9	021+219	39	XCL-3AV	PR (22m)- P90 - PF		2	21-10	021+219	39	XL-3AV	P90	
	1	21-11	021+258	48	XCL-3AV	PR (20m)- AnPF	000+443	2	21-12	021+258	48	X-1AV	AnPF	000+394
	1	21-13	021+306	58	XC-4AV			2	21-14	021+306	58	XC-4AV	PF	
	1							2	21-16BIS	021+354		X-1AV	AnPF	000+356
	1	21-15	021+364	58	XL-4AV			2	21-16	021+364	58	XL-4AV		
	1	21-17	021+422	60	XL-4AV	A/S (CP)		2	21-18	021+422	60	XL-4AV	A/S (CP)	
	1	21-19	021+482	60	XC-4AV	SE		2	21-20	021+482	60	XC-4AV	SE	
	1	21-21	021+542	60	X-4AV	E		2	21-22	021+542	60	X-4AV	E	
	1	21-23	021+602	60	XC-4AV	SE		2	21-24	021+602	60	XC-4AV	SE	
	1	21-25	021+662	60	XL-4AV	A/S (CP)	000+867	2	21-26	021+662	60	XL-4AV	A/S (CP)	000+750
	1	21-27	021+722	60	X-2AV			2	21-28	021+722	60	X-2AV		
	1	21-29	021+782	52	X-2AV			2	21-30	021+782	52	X-2AV		
	1	21-31	021+834	42	XL-4AV			2	21-32	021+834	42	XL-4AV		
	1	21-33	021+876	32	XCL-3AV	PR (21m)		2	21-34	021+876	32	XCL-3AV	PR (21m)	
	1	21-35	021+908	22	XCL-3AV	PR (20 m) - PA (CP)AN1		2	21-36	021+908	22	XCL-3AV	PR (20 m)	
	1	21-37	021+930	32	XCL-3AV	PR (20 m) - P90 - PE		2	21-38	021+930	32	XCL-3AV	PR (20 m) - P90	
	1	21-39	021+962	42	XCL-3AV	PR (22 m) - PE - PE		2	21-40	021+962	42	XCL-3AV	PR (22 m) - PE	
	1	22-1.1	022+004	52	XCL-5AV	PE-PA (CP) AN2		2	22-2.2	022+004	52	XL-3AV	PA (CP) (hilo VIA 4)-AnPF	000+924
	1	22-1.1BIS	022+014		X-1AV	AnPF	000+634	2						
	1	22-3.1	022+056	49	XCL-5AV	PE - PA (CP) (hilo VIA 3)-PF		2	22-4.2	022+056	49	X-1AV	PF	000+634
	1	22-5.1	022+105	58	XL-5AV	P50 - PA (CP) AN1-AnPF	000+632	2	22-6.2	022+105	58	X-1AV	AnPF	000+516
	1	22-7.1	022+163	63	XL-5AV	PR (12 m)- P130-PE-PA(CP) AN2		2	22-8.2	022+163	63	XL-5AV	PR (12 m)	
	1	22-9	022+226	63	XL-6AV	PR (19 m) - PE		2	22-10.2	022+226	63	XL-6AV	PR (19 m)	
	1	22-11	022+289	59	XL-6AV	PR (19 m) - PE		2	22-12.2	022+289	59	XL-6AV	PR (19 m)	
	1	22-13.1	022+348	58	-	SEMIPORTICO(9m) - P50		2	22-14.2	022+348	58	XL-5AV	SEMIPORTICO(9m)-A/S(CP)	
	1	22-15.1	022+406	54	X-5AV	P130		2	22-16.2	022+406	54	XC-2AV	SE	
	1	22-17.1	022+460	54	XL-5AV	PR (11m) - A/S (CP)	001+252	2	22-18.2	022+460	54	XL-5AV	PR (11m) - E	
	1	22-19.1	022+514	58	XL-5AV	PR (11m) - SE		2	22-20.2	022+514	58	XL-5AV	PR (11m) - SE -P130-PA(CP) AN1	
	1	22-21.1	022+572	58	XL-5AV	PR (11m) - E		2	22-22.2	022+572	58	XL-5AV	PR (11m) - A/S(CP)-P50-PE	001+150
	1	22-23.1	022+630	58	XL-5AV	PR (11m) - SE -SECCIONADOR		2	22-24.2	022+630	58	XL-5AV	PR (11m) - PA (CP)AN2	
	1	22-25.1	022+688	57	XL-5AV	PR (11m) - A/S (CP)	1266	2	22-26.2	022+688	57	XL-5AV	PR (11m) - PE -PE	
	1	22-27.1	022+745	57	XL-5AV	PR (11m)		2	22-28.2	022+745	57	XL-5AV	PR (11m) -PE-PA AN1	000+640
	1	22-29.1	022+802	58	XL-5AV	PR (11m)		2	22-30.2	022+802	58	XL-5AV	PR (11m) -P50 -PA AN2	000+639
	1	22-31.1	022+860	54	XL-6AV	PR (16m)		2	22-32	022+860	54	-	PR (16m) - P130	
	1	22-33.1	022+914	44	XL-5AV	SEMIPORTICO(8m)		2	22-34.2	022+914	44	-	SEMIPORTICO(8m) - AnPF	000+610
	1	22-35.1	022+958	50	XL-5AV	SEMIPORTICO(8m)		2	22-36.2	022+958	50	-	SEMIPORTICO(8m)-PA Dg 3 (CP)-PF	
	1	23-1	023+008	41	XL-6AV	PR (15m) - AnPF		2	23-2	023+008	41	-	PR (15m) - PE	000+626
	1	23-3	023+049	31	XL-6AV	PR (16m) - AnPF	000+620	2	23-4	023+049	31	-	PR (16m) - P90	
	1	23-5	023+080	31	XL-6AV	PR (17m) - PF		2	23-6	023+080	31	-	PR (17m)	
	1	23-7	023+111	41	X-2AV	P90 - AnPF	000+632	2	23-8	023+111	41	X-1AV		
	1	23-9	023+152	51	XC-2AV	PE		2	23-10	023+152	51	X-1AV		
	1	23-11	023+203	61	XL-3AV	PA Dg 3		2	23-12	023+203	61	X-1AV		
	1	23-13	023+264	64	X-1AV			2	23-14	023+264	64	X-1AV		
	1	23-15	023+328	64	X-1AV			2	23-16	023+328	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	23-17	023+392	64	X-1AV			2	23-18	023+392	64	XC-2AV	SE	
	1	23-19	023+456	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	23-20	023+456	64	X-2AV	E	
	1	23-21	023+520	64	XC-2AV	SE		2	23-22	023+520	64	XC-2AV	SE	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	23-23	023+584	64	X-2AV	E		2	23-24	023+584	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+236
1	23-25	023+648	64	XC-2AV	SE		2	23-26	023+648	64	X-1AV		
1	23-27	023+712	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+252	2	23-28	023+712	64	X-1AV		
1	23-29	023+776	64	X-1AV			2	23-30	023+776	64	X-1AV		
1	23-31	023+840	64	X-1AV			2	23-32	023+840	64	X-1AV		
1	23-33	023+904	64	X-1AV			2	23-34	023+904	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	23-35	023+968	64	X-1AV			2	23-36	023+968	64	X-1AV	PF	
1	24-1	024+032	64	X-1AV	AnPF		2	24-2	024+032	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	24-3	024+096	64	X-1AV	PF		2	24-4	024+096	64	X-1AV		
1	24-5	024+160	64	X-1AV	AnPF		2	24-6	024+160	64	X-1AV		
1	24-7	024+224	64	X-1AV			2	24-8	024+224	64	X-1AV		
1	24-9	024+288	64	X-1AV			2	24-10	024+288	64	X-1AV		
1	24-11	024+352	64	X-1AV			2	24-12	024+352	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	24-13	024+416	64	X-1AV			2	24-14	024+416	64	XC-2AV	SE	
1	24-15	024+480	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	24-16	024+480	64	X-2AV	E	
1	24-17	024+544	64	XC-2AV	SE		2	24-18	024+544	64	XC-2AV	SE	
1	24-19	024+608	64	X-2AV	E		2	24-20	024+608	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	24-21	024+672	64	XC-2AV	SE		2	24-22	024+672	64	X-1AV		
1	24-23	024+736	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	24-24	024+736	64	X-1AV	Ciment. Placa	
1	24-25	024+800	64	X-1AV			2	24-26	024+800	64	X-1AV		
1	24-27	024+864	64	X-1AV			2	24-28	024+864	64	X-1AV		
1	24-29	024+928	64	X-1AV	AnPF	000+512	2	24-30	024+928	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	24-31	024+992	64	X-1AV	PF		2	24-32	024+992	64	X-1AV	PF	
1	25-1	025+056	64	X-1AV	AnPF		2	25-2	025+056	64	X-1AV	AnPF	
1	25-3	025+120	64	X-1AV			2	25-4	025+120	64	X-1AV		
1	25-5	025+184	64	X-1AV			2	25-6	025+184	64	X-1AV		
1	25-7	025+248	64	X-1AV			2	25-8	025+248	64	X-1AV		
1	25-9	025+312	64	X-1AV			2	25-10	025+312	64	X-1AV		
1	25-11	025+376	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	25-12	025+376	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	25-13	025+440	64	XC-2AV	SE		2	25-14	025+440	64	XC-2AV	SE	
1	25-15	025+504	64	X-2AV	E		2	25-16	025+504	64	X-2AV	E	
1	25-17	025+568	64	XC-2AV	SE		2	25-18	025+568	64	XC-2AV	SE	
1	25-19	025+632	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	25-20	025+632	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	25-21	025+696	64	X-1AV			2	25-22	025+696	64	X-1AV		
1	25-23	025+760	64	X-1AV			2	25-24	025+760	64	X-1AV		
1	25-25	025+824	64	X-1AV			2	25-26	025+824	64	X-1AV		
1	25-27	025+888	64	X-1AV			2	25-28	025+888	64	X-1AV		
1	25-29	025+952	64	X-1AV	AnPF		2	25-30	025+952	64	X-1AV	AnPF	
1	26-1	026+016	64	X-1AV	PF		2	26-2	026+016	64	X-1AV	PF	
1	26-3	026+080	64	X-1AV	AnPF		2	26-4	026+080	64	X-1AV	AnPF	
1	26-5	026+144	64	X-1AV			2	26-6	026+144	64	X-1AV		
1	26-7	026+208	64	X-1AV			2	26-8	026+208	64	X-1AV		
1	26-9	026+272	64	X-1AV			2	26-10	026+272	64	X-1AV		
1	26-11	026+336	64	X-1AV			2	26-12	026+336	64	X-1AV		
1	26-13	026+400	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	26-14	026+400	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	26-15	026+464	64	XC-2AV	SE		2	26-16	026+464	64	XC-2AV	SE	
1	26-17	026+528	64	X-2AV	E		2	26-18	026+528	64	X-2AV	E	
1	26-19	026+592	64	XC-2AV	SE		2	26-20	026+592	64	XC-2AV	SE	
1	26-21	026+656	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	26-22	026+656	64	XL-3AV	A/S (CP)	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
MEDINA DEL CAMPO - Z.N. ATF 2.1	1 26-23	026+720	64	X-1AV			2 26-24	026+720	64	X-1AV			
	1 26-25	026+784	64	X-1AV			2 26-26	026+784	64	X-1AV			
	1 26-27	026+848	64	X-1AV			2 26-28	026+848	64	X-1AV			
	1 26-29	026+912	64	X-1AV			2 26-30	026+912	64	X-1AV			
	1 26-31	026+976	64	X-1AV	AnPF		2 26-32	026+976	64	X-1AV	AnPF		
	1 27-1	027+040	64	X-1AV	PF		2 27-2	027+040	64	X-1AV	PF		
	1 27-3	027+104	64	X-1AV	AnPF		2 27-4	027+104	64	X-1AV	AnPF		
	1 27-5	027+168	64	X-1AV			2 27-6	027+168	64	X-1AV			
	1 27-7	027+232	64	X-1AV			2 27-8	027+232	64	X-1AV			
	1 27-9	027+296	64	X-1AV			2 27-10	027+296	64	X-1AV			
	1 27-11	027+360	64	X-1AV			2 27-12	027+360	64	X-1AV			
	1 27-13	027+424	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2 27-14	027+424	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 27-15	027+488	64	XC-2AV	SE		2 27-16	027+488	64	XC-2AV	SE		
	1 27-17	027+552	64	X-2AV	E		2 27-18	027+552	64	X-2AV	E		
	1 27-19	027+616	64	XC-2AV	SE		2 27-20	027+616	64	XC-2AV	SE		
	1 27-21	027+680	64	XL-3AV	A/S (CP)		2 27-22	027+680	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 27-23	027+744	64	X-1AV			2 27-24	027+744	64	X-1AV			
	1 27-25	027+808	64	X-1AV			2 27-26	027+808	64	X-1AV			
	1 27-27	027+872	64	X-1AV			2 27-28	027+872	64	X-1AV			
	1 27-29	027+936	64	X-1AV			2 27-30	027+936	64	X-1AV			
	1 27-31	028+000	64	X-1AV	AnPF		2 27-32	028+000	64	X-1AV	AnPF		
	1 28-1	028+064	64	X-1AV	PF		2 28-2	028+064	64	X-1AV	PF		
	1 28-3	028+128	64	X-1AV	AnPF		2 28-4	028+128	64	X-1AV	AnPF		
	1 28-5	028+192	64	X-1AV			2 28-6	028+192	64	X-1AV			
	1 28-7	028+256	64	X-1AV			2 28-8	028+256	64	X-1AV			
	1 28-9	028+320	64	X-1AV			2 28-10	028+320	64	X-1AV			
	1 28-11	028+384	64	X-1AV			2 28-12	028+384	64	X-1AV			
	1 28-13	028+448	64	XL-3AV	A/S (CP)		2 28-14	028+448	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 28-15	028+512	64	XC-2AV	SE		2 28-16	028+512	64	XC-2AV	SE		
	1 28-17	028+576	64	X-2AV	E		2 28-18	028+576	64	X-2AV	E		
	1 28-19	028+640	64	XC-2AV	SE		2 28-20	028+640	64	XC-2AV	SE		
	1 28-21	028+704	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2 28-22	028+704	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 28-23	028+768	64	X-1AV			2 28-24	028+768	64	X-1AV			
	1 28-25	028+832	64	X-1AV	viaducto		2 28-26	028+832	64	X-1AV	viaducto		
	1 28-27	028+896	64	X-1AV	viaducto		2 28-28	028+896	64	X-1AV	viaducto		
	1 28-29	028+960	64	X-1AV			2 28-30	028+960	64	X-1AV			
	1 29-1	029+024	64	X-1AV	AnPF		2 29-2	029+024	64	X-1AV	AnPF		
	1 29-3	029+088	64	X-1AV	PF		2 29-4	029+088	64	X-1AV	PF		
	1 29-5	029+152	64	X-1AV	AnPF		2 29-6	029+152	64	X-1AV	AnPF		
	1 29-7	029+216	64	X-1AV			2 29-8	029+216	64	X-1AV			
	1 29-9	029+280	64	X-1AV			2 29-10	029+280	64	X-1AV			
	1 29-11	029+344	64	X-1AV			2 29-12	029+344	64	X-1AV			
	1 29-13	029+408	64	X-1AV			2 29-14	029+408	64	X-1AV			
	1 29-15	029+472	64	XL-3AV	A/S (CP)		2 29-16	029+472	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 29-17	029+536	64	XC-2AV	SE		2 29-18	029+536	64	XC-2AV	SE		
	1 29-19	029+600	64	X-2AV	E		2 29-20	029+600	64	X-2AV	E		
	1 29-21	029+664	64	XC-2AV	SE		2 29-22	029+664	64	XC-2AV	SE		
	1 29-23	029+728	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2 29-24	029+728	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1 29-25	029+792	64	X-1AV			2 29-26	029+792	64	X-1AV			



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

ESTACIÓN DE	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
ESTACIÓN DE	1	29-27	029+856	64	X-1AV			2	29-28	029+856	64	X-1AV		
	1	29-29	029+920	64	X-1AV			2	29-30	029+920	64	X-1AV		
	1	29-31	029+984	64	X-1AV			2	29-32	029+984	64	X-1AV		
	1	30-1	030+048	64	X-1AV	AnPF		2	30-2	030+048	64	X-1AV	AnPF	
	1	30-3	030+112	64	X-1AV	PF		2	30-4	030+112	64	X-1AV	PF	
	1	30-5	030+176	64	X-1AV	AnPF		2	30-6	030+176	64	X-1AV	AnPF	
	1	30-7	030+240	64	X-1AV			2	30-8	030+240	64	X-1AV		
	1	30-9	030+304	64	X-1AV			2	30-10	030+304	64	X-1AV		
	1	30-11	030+368	64	X-1AV			2	30-12	030+368	64	X-1AV		
	1	30-13	030+432	64	X-1AV			2	30-14	030+432	64	X-1AV		
	1	30-15	030+496	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+896	2	30-16	030+496	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	30-17	030+560	64	XC-2AV	SE		2	30-18	030+560	64	XC-2AV	SE	
	1	30-19	030+624	64	X-2AV	E		2	30-20	030+624	64	X-2AV	E	
	1	30-21	030+688	64	XC-2AV	SE		2	30-22	030+688	64	XC-2AV	SE	
	1	30-23	030+752	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	30-24	030+752	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	30-25	030+816	64	X-1AV			2	30-26	030+816	64	X-1AV		
	1	30-27	030+880	64	X-1AV	AnPF	000+448	2	30-28	030+880	64	X-1AV	AnPF	000+448
	1	30-29	030+944	64	X-1AV	PF		2	30-30	030+944	64	X-1AV	PF	
	1	31-1	031+008	64	X-1AV	AnPF	000+448	2	31-2	031+008	64	X-1AV	AnPF	000+448
	1	31-3	031+072	64	X-1AV			2	31-4	031+072	64	X-1AV		
	1	31-5	031+136	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	31-6	031+136	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	31-7	031+200	64	XC-2AV	SE		2	31-8	031+200	64	XC-2AV	SE	
	1	31-9	031+264	64	X-2AV	E		2	31-10	031+264	64	X-2AV	E	
	1	31-11	031+328	64	XC-2AV	SE		2	31-12	031+328	64	XC-2AV	SE	
	1	31-13	031+392	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+896	2	31-14	031+392	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+896
	1	31-15	031+456	64	X-1AV			2	31-16	031+456	64	X-1AV		
	1	31-17	031+520	64	X-1AV			2	31-18	031+520	64	X-1AV		
	1	31-19	031+584	64	X-1AV			2	31-20	031+584	64	X-1AV		
	1	31-21	031+648	64	X-1AV	AnPF		2	31-22	031+648	64	X-1AV	AnPF	
	1	31-23	031+712	64	X-1AV	PF		2	31-24	031+712	64	X-1AV	PF	
	1	31-25	031+776	64	X-1AV	AnPF		2	31-26	031+776	64	X-1AV	AnPF	
	1	31-27	031+840	64	X-1AV			2	31-28	031+840	64	X-1AV		
	1	31-29	031+904	64	X-1AV			2	31-30	031+904	64	X-1AV		
	1	31-31	031+968	64	X-1AV			2	31-32	031+968	64	X-1AV		
	1	32-1	032+032	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	32-2	032+032	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
	1	32-3	032+096	64	XC-2AV	SE		2	32-4	032+096	64	XC-2AV	SE	
	1	32-5	032+160	64	X-2AV	E		2	32-6	032+160	64	X-2AV	E	
	1	32-7	032+224	64	XC-2AV	SE		2	32-8	032+224	64	XC-2AV	SE	
	1	32-9	032+288	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	32-10	032+288	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
	1	32-11	032+352	64	X-1AV			2	32-12	032+352	64	X-1AV		
	1	32-13	032+416	64	X-1AV			2	32-14	032+416	64	X-1AV		
	1	32-15	032+480	64	X-1AV			2	32-16	032+480	64	X-1AV		
	1	32-17	032+544	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	32-18	032+544	64	X-1AV	AnPF	000+576
	1	32-19	032+608	64	X-1AV	PF		2	32-20	032+608	64	X-1AV	PF	
	1	32-21	032+672	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	32-22	032+672	64	X-1AV	AnPF	000+576
	1	32-23	032+736	64	X-1AV			2	32-24	032+736	64	X-1AV		
	1	32-25	032+800	64	X-1AV			2	32-26	032+800	64	X-1AV		
	1	32-27	032+864	64	X-1AV			2	32-28	032+864	64	X-1AV		
	1	32-29	032+928	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	32-30	032+928	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	32-31	032+992	64	XC-2AV	SE		2	32-32	032+992	64	XC-2AV	SE	
1	33-1	033+056	64	X-2AV	E		2	33-2	033+056	64	X-2AV	E	
1	33-3	033+120	64	XC-2AV	SE		2	33-4	033+120	64	XC-2AV	SE	
1	33-5	033+184	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	33-6	033+184	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
1	33-7	033+248	64	X-1AV			2	33-8	033+248	64	X-1AV		
1	33-9	033+312	64	X-1AV			2	33-10	033+312	64	X-1AV		
1	33-11	033+376	64	X-1AV			2	33-12	033+376	64	X-1AV		
1	33-13	033+440	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	33-14	033+440	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	33-15	033+504	64	X-1AV	PF		2	33-16	033+504	64	X-1AV	PF	
1	33-17	033+568	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	33-18	033+568	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	33-19	033+632	64	X-1AV			2	33-20	033+632	64	X-1AV		
1	33-21	033+696	64	X-1AV			2	33-22	033+696	64	X-1AV		
1	33-23	033+760	64	X-1AV			2	33-24	033+760	64	X-1AV		
1	33-25	033+824	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+264	2	33-26	033+824	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+264
1	33-27	033+888	64	XC-2AV	SE		2	33-28	033+888	64	XC-2AV	SE	
1	33-29	033+952	64	X-2AV	E		2	33-30	033+952	64	X-2AV	E	
1	34-1	034+016	64	XC-2AV	SE		2	34-2	034+016	64	XC-2AV	SE	
1	34-3	034+080	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	34-4	034+080	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
1	34-5	034+144	64	X-1AV			2	34-6	034+144	64	X-1AV		
1	34-7	034+208	64	X-1AV			2	34-8	034+208	64	X-1AV		
1	34-9	034+272	60	X-1AV			2	34-10	034+272	60	X-1AV		
1	34-11	034+332	60	X-1AV			2	34-12	034+332	60	X-1AV		
1	34-13	034+392	64	X-1AV	AnPF	000+632	2	34-14	034+392	64	X-1AV	AnPF	000+632
1	34-15	034+456	64	X-1AV	PF		2	34-16	034+456	64	X-1AV	PF	
1	34-17	034+520	64	X-1AV	AnPF	000+632	2	34-18	034+520	64	X-1AV	AnPF	000+632
1	34-19	034+584	60	X-1AV			2	34-20	034+584	60	X-1AV		
1	34-21	034+644	60	X-1AV			2	34-22	034+644	60	X-1AV		
1	34-23	034+704	64	X-1AV			2	34-24	034+704	64	X-1AV		
1	34-25	034+768	64	X-1AV			2	34-26	034+768	64	X-1AV		
1	34-27	034+832	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	34-28	034+832	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	34-29	034+896	64	XC-2AV	SE		2	34-30	034+896	64	XC-2AV	SE	
1	34-31	034+960	64	X-2AV	E		2	34-32	034+960	64	X-2AV	E	
1	35-1	035+024	64	XC-2AV	SE		2	35-2	035+024	64	XC-2AV	SE	
1	35-3	035+088	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+264	2	35-4	035+088	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+264
1	35-5	035+152	64	X-1AV			2	35-6	035+152	64	X-1AV		
1	35-7	035+216	64	X-1AV			2	35-8	035+216	64	X-1AV		
1	35-9	035+280	64	X-1AV			2	35-10	035+280	64	X-1AV		
1	35-11	035+344	64	X-1AV			2	35-12	035+344	64	X-1AV		
1	35-13	035+408	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	35-14	035+408	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	35-15	035+472	64	X-1AV	PF		2	35-16	035+472	64	X-1AV	PF	
1	35-17	035+536	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	35-18	035+536	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	35-19	035+600	64	X-1AV			2	35-20	035+600	64	X-1AV		
1	35-21	035+664	64	X-1AV			2	35-22	035+664	64	X-1AV		
1	35-23	035+728	64	X-1AV			2	35-24	035+728	64	X-1AV		
1	35-25	035+792	64	X-1AV			2	35-26	035+792	64	X-1AV		
1	35-27	035+856	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	35-28	035+856	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	35-29	035+920	64	XC-2AV	SE		2	35-30	035+920	64	XC-2AV	SE	
1	35-31	035+984	64	X-2AV	E		2	35-32	035+984	64	X-2AV	E	
1	36-1	036+048	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	36-2	036+048	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
Z.N. ATF 2.1	1	36-3	036+112	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	36-4	036+112	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	36-5	036+176	64	X-1AV	AnPF		2	36-6	036+176	64	X-1AV	AnPF	
	1	36-7	036+240	64	X-1AV	PF	384	2	36-8	036+240	64	X-1AV	PF	384
	1	36-9	036+304	64	X-1AV	AnPF		2	36-10	036+304	64	X-1AV	AnPF	
	1	36-11	036+368	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	36-12	036+368	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	36-13	036+432	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	36-14	036+432	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	36-15	036+496	64	X-2AV	E		2	36-16	036+496	64	X-2AV	E	
	1	36-17	036+560	64	XC-2AV	SE		2	36-18	036+560	64	XC-2AV	SE	
	1	36-19	036+624	64	XL-3AV	A/S (CP)	768	2	36-20	036+624	64	XL-3AV	A/S (CP)	768
		1	36-21	036+688	64	X-1AV			2	36-22	036+688	64	X-1AV	
	1	36-23	036+752	64	X-1AV			2	36-24	036+752	64	X-1AV		
	1	36-25	036+816	64	X-1AV			2	36-26	036+816	64	X-1AV		
	1	36-27	036+880	64	X-1AV			2	36-28	036+880	64	X-1AV		
	1	36-29	036+944	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	36-30	036+944	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	37-1	037+008	64	X-1AV	PF		2	37-2	037+008	64	X-1AV	PF	
	1	37-3	037+072	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	37-4	037+072	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	37-5	037+136	64	X-1AV			2	37-6	037+136	64	X-1AV		
	1	37-7	037+200	64	X-1AV			2	37-8	037+200	64	X-1AV		
	1	37-9	037+264	64	X-1AV			2	37-10	037+264	64	X-1AV		
	1	37-11	037+328	64	X-1AV			2	37-12	037+328	64	X-1AV		
	1	37-13	037+392	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	37-14	037+392	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	37-15	037+456	64	XC-2AV	SE		2	37-16	037+456	64	XC-2AV	SE	
	1	37-17	037+520	64	X-2AV	E		2	37-18	037+520	64	X-2AV	E	
	1	37-19	037+584	64	XC-2AV	SE		2	37-20	037+584	64	XC-2AV	SE	
	1	37-21	037+648	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	37-22	037+648	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	37-23	037+712	64	X-1AV			2	37-24	037+712	64	X-1AV		
	1	37-25	037+776	64	X-1AV			2	37-26	037+776	64	X-1AV		
	1	37-27	037+840	64	X-1AV			2	37-28	037+840	64	X-1AV		
	1	37-29	037+904	64	X-1AV			2	37-30	037+904	64	X-1AV		
	1	37-31	037+968	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	37-32	037+968	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	38-1	038+032	64	X-1AV	PF		2	38-2	038+032	64	X-1AV	PF	
	1	38-3	038+096	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	38-4	038+096	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	38-5	038+160	64	X-1AV			2	38-6	038+160	64	X-1AV		
	1	38-7	038+224	64	X-1AV			2	38-8	038+224	64	X-1AV		
	1	38-9	038+288	64	X-1AV			2	38-10	038+288	64	X-1AV		
	1	38-11	038+352	64	X-1AV			2	38-12	038+352	64	X-1AV		
	1	38-13	038+416	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	38-14	038+416	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	38-15	038+480	64	XC-2AV	SE		2	38-16	038+480	64	XC-2AV	SE	
	1	38-17	038+544	64	X-2AV	E		2	38-18	038+544	64	X-2AV	E	
	1	38-19	038+608	64	XC-2AV	SE		2	38-20	038+608	64	XC-2AV	SE	
	1	38-21	038+672	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	38-22	038+672	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	38-23	038+736	64	X-1AV			2	38-24	038+736	64	X-1AV		
	1	38-25	038+800	64	X-1AV			2	38-26	038+800	64	X-1AV		
	1	38-27	038+864	64	X-1AV			2	38-28	038+864	64	X-1AV		
	1	38-29	038+928	64	X-1AV			2	38-30	038+928	64	X-1AV		
	1	38-31	038+992	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	38-32	038+992	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	39-1	039+056	64	X-1AV	PF		2	39-2	039+056	64	X-1AV	PF	
	1	39-3	039+120	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	39-4	039+120	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	39-5	039+184	64	X-1AV			2	39-6	039+184	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
Z.N. ATF 2.1 - PB DE LA NAVA	1	39-7	039+248	64	X-1AV		2	39-8	039+248	64	X-1AV		
	1	39-9	039+312	64	X-1AV		2	39-10	039+312	64	X-1AV		
	1	39-11	039+376	64	X-1AV		2	39-12	039+376	64	X-1AV		
	1	39-13	039+440	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	39-14	039+440	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	39-15	039+504	64	XC-2AV	SE	2	39-16	039+504	64	XC-2AV	SE	
	1	39-17	039+568	64	X-2AV	E	2	39-18	039+568	64	X-2AV	E	
	1	39-19	039+632	64	XC-2AV	SE	2	39-20	039+632	64	XC-2AV	SE	
	1	39-21	039+696	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	39-22	039+696	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	39-23	039+760	64	X-1AV		2	39-24	039+760	64	X-1AV		
	1	39-25	039+824	64	X-1AV		2	39-26	039+824	64	X-1AV		
	1	39-27	039+888	64	X-1AV		2	39-28	039+888	64	X-1AV		
	1	39-29	039+952	64	X-1AV		2	39-30	039+952	64	X-1AV		
	1	40-1	040+016	64	X-1AV	AnPF	2	40-2	040+016	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	40-3	040+080	64	X-1AV	PF	2	40-4	040+080	64	X-1AV	PF	
	1	40-5	040+144	64	X-1AV	AnPF	2	40-6	040+144	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	40-7	040+208	64	X-1AV		2	40-8	040+208	64	X-1AV		
	1	40-9	040+272	64	X-1AV		2	40-10	040+272	64	X-1AV		
	1	40-11	040+336	64	X-1AV		2	40-12	040+336	64	X-1AV		
	1	40-13	040+400	64	X-1AV		2	40-14	040+400	64	X-1AV		
	1	40-15	040+464	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	40-16	040+464	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	40-17	040+528	64	XC-2AV	SE	2	40-18	040+528	64	XC-2AV	SE	
	1	40-19	040+592	64	X-2AV	E	2	40-20	040+592	64	X-2AV	E	
	1	40-21	040+656	64	XC-2AV	SE	2	40-22	040+656	64	XC-2AV	SE	
	1	40-23	040+720	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	40-24	040+720	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	40-25	040+784	64	X-1AV		2	40-26	040+784	64	X-1AV		
	1	40-27	040+848	64	X-1AV		2	40-28	040+848	64	X-1AV		
	1	40-29	040+912	64	X-1AV		2	40-30	040+912	64	X-1AV		
	1	40-31	040+976	64	X-1AV		2	40-32	040+976	64	X-1AV		
	1	41-1	041+040	64	X-1AV	AnPF	2	41-2	041+040	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	41-3	041+104	64	X-1AV	PF	2	41-4	041+104	64	X-1AV	PF	
	1	41-5	041+168	64	X-1AV	AnPF	2	41-6	041+168	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	41-7	041+232	64	X-1AV		2	41-8	041+232	64	X-1AV		
	1	41-9	041+296	64	X-1AV		2	41-10	041+296	64	X-1AV		
	1	41-11	041+360	64	X-1AV		2	41-12	041+360	64	X-1AV		
	1	41-13	041+424	64	X-1AV		2	41-14	041+424	64	X-1AV		
	1	41-15	041+488	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	41-16	041+488	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	41-17	041+552	64	XC-2AV	SE	2	41-18	041+552	64	XC-2AV	SE	
	1	41-19	041+616	64	X-2AV	E	2	41-20	041+616	64	X-2AV	E	
	1	41-21	041+680	64	XC-2AV	SE	2	41-22	041+680	64	XC-2AV	SE	
	1	41-23	041+744	64	XL-3AV	A/S (CP)	2	41-24	041+744	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	41-25	041+808	64	X-1AV		2	41-26	041+808	64	X-1AV		
	1	41-27	041+872	64	X-1AV		2	41-28	041+872	64	X-1AV		
	1	41-29	041+936	64	X-1AV		2	41-30	041+936	64	X-1AV		
	1	42-1	042+000	64	X-1AV		2	42-2	042+000	64	X-1AV		
	1	42-3	042+064	64	X-1AV	AnPF	2	42-4	042+064	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	42-5	042+128	64	X-1AV	PF	2	42-6	042+128	64	X-1AV	PF	
	1	42-7	042+192	64	X-1AV	AnPF	2	42-8	042+192	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	42-9	042+256	64	X-1AV		2	42-10	042+256	64	X-1AV		
	1	42-11	042+320	64	X-1AV		2	42-12	042+320	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	42-13	042+384	64	X-1AV			2	42-14	042+384	64	X-1AV		
1	42-15	042+448	64	X-1AV			2	42-16	042+448	64	X-1AV		
1	42-17	042+512	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+244	2	42-18	042+512	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+244
1	42-19	042+576	64	XC-2AV	SE		2	42-20	042+576	64	XC-2AV	SE	
1	42-21	042+640	64	X-2AV	E		2	42-22	042+640	64	X-2AV	E	
1	42-23	042+704	64	XC-2AV	SE		2	42-24	042+704	64	XC-2AV	SE	
1	42-25	042+768	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	42-26	042+768	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	42-27	042+832	64	X-1AV			2	42-28	042+832	64	X-1AV		
1	42-29	042+896	64	X-1AV			2	42-30	042+896	64	X-1AV		
1	43-1	042+960	64	X-1AV			2	42-32	042+960	64	X-1AV		
1	43-3	043+024	64	X-1AV			2	43-2	043+024	64	X-1AV		
1	43-5	043+088	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	43-4	043+088	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	43-7	043+152	64	X-1AV	PF		2	43-6	043+152	64	X-1AV	PF	
1	43-9	043+216	60	X-1AV	AnPF	000+604	2	43-8	043+216	60	X-1AV	AnPF	000+604
1	43-11	043+276	60	X-1AV			2	43-10	043+276	60	X-1AV		
1	43-13	043+336	60	X-1AV			2	43-12	043+336	60	X-1AV		
1	43-15	043+396	60	X-1AV			2	43-14	043+396	60	X-1AV		
1	43-17	043+456	50	X-1AV			2	43-16	043+456	50	X-1AV		
1	43-19	043+506	50	X-1AV	viaducto		2	43-18	043+506	50	X-1AV	viaducto	
1	43-21	043+556	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+210	2	43-20	043+556	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	000+000
1	43-23	043+606	50	XC-2AV	SE - viaducto		2	43-22	043+606	50	XC-2AV	SE - viaducto	
1	43-25	043+656	50	X-2AV	E - viaducto		2	43-24	043+656	50	X-2AV	E - viaducto	
1	43-27	043+706	50	XC-2AV	SE - viaducto		2	43-26	043+706	50	XC-2AV	SE - viaducto	
1	43-29	043+756	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+244	2	43-28	043+756	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+244
1	43-31	043+806	50	X-1AV	viaducto		2	43-30	043+806	50	X-1AV	viaducto	
1	43-33	043+856	50	X-1AV	viaducto		2	43-32	043+856	50	X-1AV	viaducto	
1	43-35	043+906	50	X-1AV	viaducto		2	43-34	043+906	50	X-1AV	viaducto	
1	43-37	043+956	50	X-1AV	viaducto		2	43-36	043+956	50	X-1AV	viaducto	
1	44-1	044+006	50	X-1AV	viaducto		2	44-2	044+006	50	X-1AV	viaducto	
1	44-3	044+056	50	X-1AV	viaducto		2	44-4	044+056	50	X-1AV	viaducto	
1	44-5	044+106	50	X-1AV	AnPF - viaducto	000+600	2	44-6	044+106	50	X-1AV	AnPF - viaducto	000+600
1	44-7	044+156	50	X-1AV	PF - viaducto		2	44-8	044+156	50	X-1AV	PF - viaducto	
1	44-9	044+206	50	X-1AV	AnPF - viaducto	000+610	2	44-10	044+206	50	X-1AV	AnPF - viaducto	000+610
1	44-11	044+256	50	X-1AV	viaducto		2	44-12	044+256	50	X-1AV	viaducto	
1	44-13	044+306	50	X-1AV	viaducto		2	44-14	044+306	50	X-1AV	viaducto	
1	44-15	044+356	50	X-1AV	viaducto		2	44-16	044+356	50	X-1AV	viaducto	
1	44-17	044+406	50	X-1AV			2	44-18	044+406	50	X-1AV		
1	44-19	044+456	54	X-1AV			2	44-20	044+456	54	X-1AV		
1	44-21	044+510	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	44-22	044+510	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
1	44-23	044+574	64	XC-2AV	SE		2	44-24	044+574	64	XC-2AV	SE	
1	44-25	044+638	64	X-2AV	E		2	44-26	044+638	64	X-2AV	E	
1	44-27	044+702	64	XC-2AV	SE		2	44-28	044+702	64	XC-2AV	SE	
1	44-29	044+766	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+210	2	44-30	044+766	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	44-31	044+830	64	X-1AV			2	44-32	044+830	64	X-1AV		
1	44-33	044+894	64	X-1AV			2	44-34	044+894	64	X-1AV		
1	44-35	044+958	64	X-1AV			2	44-36	044+958	64	X-1AV		
1	45-1	045+022	64	X-1AV			2	45-2	045+022	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	45-3	045+086	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	45-4	045+086	64	X-1AV	PF	
1	45-5	045+150	64	X-1AV	PF		2	45-6	045+150	64	X-1AV	AnPF	000+576



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
	1	45-7	045+214	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	45-8	045+214	64	X-1AV		
	1	45-9	045+278	64	X-1AV			2	45-10	045+278	64	X-1AV		
	1	45-11	045+342	64	X-1AV			2	45-12	045+342	64	X-1AV		
	1	45-13	045+406	64	X-1AV			2	45-14	045+406	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+024
	1	45-15	045+470	64	X-1AV			2	45-16	045+470	64	XC-2AV	SE	
	1	45-17	045+534	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+252	2	45-18	045+534	64	X-2AV	E	
	1	45-19	045+598	64	XC-2AV	SE		2	45-20	045+598	64	XC-2AV	SE	
	1	45-21	045+662	64	X-2AV	E		2	45-22	045+662	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
	1	45-23	045+726	64	XC-2AV	SE		2	45-24	045+726	64	X-1AV		
	1	45-25	045+790	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	45-26	045+790	64	X-1AV		
	1	45-27	045+854	64	X-1AV			2	45-28	045+854	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	45-29	045+918	64	X-1AV			2	45-30	045+918	64	X-1AV	PF	
	1	45-31	045+982	64	X-1AV			2	45-32	045+982	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	46-1	046+046	64	X-1AV			2	46-2	046+046	64	X-1AV		
	1	46-3	046+110	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	46-4	046+110	64	X-1AV		
	1	46-5	046+174	64	X-1AV	PF		2	46-6	046+174	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+112
	1	46-7	046+238	64	X-1AV	AnPF	000+612	2	46-8	046+238	64	XC-2AV	SE	
	1	46-9	046+302	64	X-1AV			2	46-10	046+302	64	X-2AV	E	
	1	46-11	046+366	64	X-1AV			2	46-12	046+366	64	XCL-3AV	PA (CP) AN1 - SE	
PB DE LA NAVA	1	46-13	046+430	64	X-1AV			2	46-14	046+430	64	XCL-3AV	PE - A/S (CP)	001+024
	1	46-15	046+494	64	X-1AV			2	46-16	046+494	64	XL-4AV	PA (CP) AN2	
	1	46-17	046+558	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+266	2	46-18	046+558	64	XC-5AV	PE	
	1	46-19	046+622	58	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	46-20	046+622	58	X-5AV	P50	
	1	46-21	046+680	53	X-2AV	E		2	46-22	046+680	53	X-5AV	P130 - AnPF	000+559
	1	46-23	046+733	53	XL-5AV	PR=12m - SE		2	46-24	046+733	53	X-1AV	PR=12m - PF	
	1	46-25	046+786	58	XL-5AV	P130 - A/S (CP)	001+252	2	46-26	046+786	58	X-1AV	AnPF	000+553
	1	46-27	046+844	64	X-5AV	P50		2	46-28	046+844	64	X-1AV		
	1	46-29	046+908	64	XC-5AV	PE		2	46-30	046+908	64	X-1AV		
	1	46-31	046+972	64	XL-4AV	PA AN2		2	46-32	046+972	64	X-1AV		
	1	47-1	047+036	62	XC-2AV	PE		2	47-2	047+036	62	XL-3AV	A/S (CP)	048+316
	1	47-3	047+098	52	XL-3AV	PA AN1		2	47-4	047+098	52	XC-2AV	SE	
	1	47-5	047+150	42	X-1AV	AnPF	000+634	2	47-6	047+150	42	X-2AV	E	
	1	47-7	047+192	42	X-1AV	PF		2	47-8	047+192	42	X-2AV	E	
	1	47-9	047+234	52	X-1AV	AnPF	000+632	2	47-10	047+234	52	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	47-11	047+286	60	XL-3AV	PA (CP) AN1		2	47-12	047+286	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+112
	1	47-13	047+346	64	XC-2AV	PE		2	47-14	047+346	64	X-1AV		
	1	47-15	047+410	64	XL-4AV	PA (CP) AN2		2	47-16	047+410	64	X-1AV		
	1	47-17	047+474	64	XC-5AV	PE		2	47-18	047+474	64	X-1AV		
	1	47-19	047+538	58	X-5AV	P50		2	47-20	047+538	58	X-1AV	AnPF	000+560
	1	47-21	047+596	53	XL-5AV	P130 - A/S (CP)	001+188	2	47-22	047+596	53	X-1AV	PF	
	1	47-23	047+649	53	XL-5AV	PR=12m - SE		2	47-24	047+649	53	XL-5AV	PR=12m - AnPF	000+612
	1	47-25	047+702	58	X-2AV	E		2	47-26	047+702	58	X-5AV	P130	
	1	47-27	047+760	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	47-28	047+760	64	X-5AV	P50	
	1	47-29	047+824	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+266	2	47-30	047+824	64	XC-5AV	PE	
	1	47-31	047+888	64	X-1AV			2	47-32	047+888	64	XL-4AV	PA AN2	
	1	47-33	047+952	64	X-1AV			2	47-34	047+952	64	XCL-3AV	PE - A/S (CP)	
	1	48-1	048+016	64	X-1AV			2	48-2	048+016	64	XCL-3AV	PA - SE	
	1	48-3	048+080	64	X-1AV			2	48-4	048+080	64	X-2AV	E	
	1	48-5	048+144	64	X-1AV	AnPF	000+612	2	48-6	048+144	64	XC-2AV	SE	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	48-7	048+208	64	X-1AV	PF		2	48-8	048+208	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+172
1	48-9	048+272	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	48-10	048+272	64	X-1AV		
1	48-11	048+336	64	X-1AV			2	48-12	048+336	64	X-1AV		
1	48-13	048+400	64	X-1AV			2	48-14	048+400	64	X-1AV		
1	48-15	048+464	64	X-1AV			2	48-16	048+464	64	X-1AV		
1	48-17	048+528	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	48-18	048+528	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	48-19	048+592	64	XC-2AV	SE		2	48-20	048+592	64	X-1AV	PF	
1	48-21	048+656	64	X-2AV	E		2	48-22	048+656	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	48-23	048+720	64	XC-2AV	SE		2	48-24	048+720	64	X-1AV		
1	48-25	048+784	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+188	2	48-26	048+784	64	X-1AV		
1	48-27	048+848	64	X-1AV			2	48-28	048+848	64	X-1AV		
1	48-29	048+912	64	X-1AV			2	48-30	048+912	64	X-1AV		
1	48-31	048+976	64	X-1AV			2	48-32	048+976	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	49-1	049+040	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	49-2	049+040	64	XC-2AV	SE	
1	49-3	049+104	64	X-1AV	PF		2	49-4	049+104	64	X-2AV	E	
1	49-5	049+168	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	49-6	049+168	64	XC-2AV	SE	
1	49-7	049+232	64	X-1AV			2	49-8	049+232	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	49-9	049+296	64	X-1AV			2	49-10	049+296	64	X-1AV		
1	49-11	049+360	64	X-1AV			2	49-12	049+360	64	X-1AV		
1	49-13	049+424	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+148	2	49-14	049+424	64	X-1AV		
1	49-15	049+488	64	XC-2AV	SE		2	49-16	049+488	64	X-1AV		
1	49-17	049+552	64	X-2AV	E		2	49-18	049+552	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	49-19	049+616	64	XC-2AV	SE		2	49-20	049+616	64	X-1AV	PF	
1	49-21	049+680	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	49-22	049+680	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	49-23	049+744	64	X-1AV			2	49-24	049+744	64	X-1AV		
1	49-25	049+808	64	X-1AV			2	49-26	049+808	64	X-1AV		
1	49-27	049+872	64	X-1AV			2	49-28	049+872	64	X-1AV		
1	49-29	049+936	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	49-30	049+936	64	X-1AV		
1	50-1	050+000	64	X-1AV	PF		2	50-2	050+000	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	50-3	050+064	64	X-1AV	AnPF	000+632	2	50-4	050+064	64	XC-2AV	SE	
1	50-5	050+128	64	X-1AV			2	50-6	050+128	64	X-2AV	E	
1	50-7	050+192	64	X-1AV			2	50-8	050+192	64	XC-2AV	SE	
1	50-9	050+256	64	X-1AV			2	50-10	050+256	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	50-11	050+320	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+012	2	50-12	050+320	64	X-1AV		
1	50-13	050+384	64	XC-2AV	SE		2	50-14	050+384	64	X-1AV		
1	50-15	050+448	64	X-2AV	E		2	50-16	050+448	64	X-1AV		
1	50-17	050+512	60	XC-2AV	SE		2	50-18	050+512	60	X-1AV	AnPF	000+572
1	50-19	050+572	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+148	2	50-20	050+572	60	X-1AV	PF	
1	50-21	050+632	50	X-1AV			2	50-22	050+632	50	X-1AV	AnPF	000+560
1	50-23	050+682	50	X-1AV			2	50-24	050+682	50	X-1AV		
1	50-25	050+732	50	X-1AV			2	50-26	050+732	50	X-1AV		
1	50-27	050+782	50	X-1AV	AnPF	000+512	2	50-28	050+782	50	X-1AV		
1	50-29	050+832	50	X-1AV	PF		2	50-30	050+832	50	X-1AV		
1	50-31	050+882	50	X-1AV	AnPF	000+500	2	50-32	050+882	50	X-1AV		
1	50-33	050+932	50	X-1AV			2	50-34	050+932	50	XL-3AV	A/S (CP)	
1	50-35	050+982	50	X-1AV			2	50-36	050+982	50	XC-2AV	SE	
1	51-1	051+032	50	X-1AV			2	51-2	051+032	50	X-2AV	E	
1	51-3	051+082	50	X-1AV			2	51-4	051+082	50	XC-2AV	SE	
1	51-5	051+132	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+060	2	51-6	051+132	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+132



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	51-7	051+182	50	XC-2AV	SE		2	51-8	051+182	50	X-1AV		
1	51-9	051+232	50	X-2AV	E		2	51-10	051+232	50	X-1AV		
1	51-11	051+282	50	XC-2AV	SE		2	51-12	051+282	50	X-1AV		
1	51-13	051+332	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+012	2	51-14	051+332	50	X-1AV		
1	51-15	051+382	50	X-1AV			2	51-16	051+382	50	X-1AV		
1	51-17	051+432	60	X-1AV			2	51-18	051+432	60	X-1AV	AnPF	000+560
1	51-19	051+492	60	X-1AV			2	51-20	051+492	60	X-1AV	PF	
1	51-21	051+552	64	X-1AV	AnPF	000+484	2	51-22	051+552	64	X-1AV	AnPF	000+572
1	51-23	051+616	64	X-1AV	PF		2	51-24	051+616	64	X-1AV		
1	51-25	051+680	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	51-26	051+680	64	X-1AV		
1	51-27	051+744	64	X-1AV			2	51-28	051+744	64	X-1AV		
1	51-29	051+808	64	X-1AV			2	51-30	051+808	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	51-31	051+872	64	X-1AV			2	51-32	051+872	64	XC-2AV	SE	
1	51-33	051+936	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	51-34	051+936	64	X-2AV	E	
1	52-1	052+000	64	XC-2AV	SE		2	52-2	052+000	64	XC-2AV	SE	
1	52-3	052+064	64	X-2AV	E		2	52-4	052+064	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+132
1	52-5	052+128	64	XC-2AV	SE		2	52-6	052+128	64	X-1AV		
1	52-7	052+192	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+060	2	52-8	052+192	64	X-1AV		
1	52-9	052+256	64	X-1AV			2	52-10	052+256	64	X-1AV		
1	52-11	052+320	64	X-1AV			2	52-12	052+320	64	X-1AV		
1	52-13	052+384	64	X-1AV			2	52-14	052+384	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	52-15	052+448	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	52-16	052+448	64	X-1AV	PF	
1	52-17	052+512	64	X-1AV	PF		2	52-18	052+512	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	52-19	052+576	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	52-20	052+576	64	X-1AV		
1	52-21	052+640	64	X-1AV			2	52-22	052+640	64	X-1AV		
1	52-23	052+704	64	X-1AV			2	52-24	052+704	64	X-1AV		
1	52-25	052+768	64	X-1AV			2	52-26	052+768	64	X-1AV		
1	52-27	052+832	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	52-28	052+832	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	52-29	052+896	64	XC-2AV	SE		2	52-30	052+896	64	XC-2AV	SE	
1	52-31	052+960	64	X-2AV	E		2	52-32	052+960	64	X-2AV	E	
1	53-1	053+024	64	XC-2AV	SE		2	53-2	053+024	64	XC-2AV	SE	
1	53-3	053+088	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	53-4	053+088	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	53-5	053+152	64	X-1AV			2	53-6	053+152	64	X-1AV		
1	53-7	053+216	64	X-1AV			2	53-8	053+216	64	X-1AV		
1	53-9	053+280	64	X-1AV			2	53-10	053+280	64	X-1AV		
1	53-11	053+344	64	X-1AV			2	53-12	053+344	64	X-1AV		
1	53-13	053+408	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	53-14	053+408	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	53-15	053+472	64	X-1AV	PF		2	53-16	053+472	64	X-1AV	PF	
1	53-17	053+536	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	53-18	053+536	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	53-19	053+600	64	X-1AV			2	53-20	053+600	64	X-1AV		
1	53-21	053+664	64	X-1AV			2	53-22	053+664	64	X-1AV		
1	53-23	053+728	64	X-1AV			2	53-24	053+728	64	X-1AV		
1	53-25	053+792	64	X-1AV			2	53-26	053+792	64	X-1AV		
1	53-27	053+856	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	53-28	053+856	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	53-29	053+920	64	XC-2AV	SE		2	53-30	053+920	64	XC-2AV	SE	
1	53-31	053+984	64	X-2AV	E		2	53-32	053+984	64	X-2AV	E	
1	54-1	054+048	64	XC-2AV	SE		2	54-2	054+048	64	XC-2AV	SE	
1	54-3	054+112	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	54-4	054+112	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	54-5	054+176	64	X-1AV			2	54-6	054+176	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
PB DE LA NAVA - SE TORO	1	54-7	054+240	64	X-1AV			2	54-8	054+240	64	X-1AV		
	1	54-9	054+304	64	X-1AV			2	54-10	054+304	64	X-1AV		
	1	54-11	054+368	64	X-1AV			2	54-12	054+368	64	X-1AV		
	1	54-13	054+432	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	54-14	054+432	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	54-15	054+496	64	X-1AV	PF		2	54-16	054+496	64	X-1AV	PF	
	1	54-17	054+560	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	54-18	054+560	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	54-19	054+624	64	X-1AV			2	54-20	054+624	64	X-1AV		
	1	54-21	054+688	64	X-1AV			2	54-22	054+688	64	X-1AV		
	1	54-23	054+752	64	X-1AV			2	54-24	054+752	64	X-1AV		
	1	54-25	054+816	64	X-1AV			2	54-26	054+816	64	X-1AV		
	1	54-27	054+880	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	54-28	054+880	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	54-29	054+944	64	XC-2AV	SE		2	54-30	054+944	64	XC-2AV	SE	
	1	55-1	055+008	64	X-2AV	E		2	55-2	055+008	64	X-2AV	E	
	1	55-3	055+072	64	XC-2AV	SE		2	55-4	055+072	64	XC-2AV	SE	
	1	55-5	055+136	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	55-6	055+136	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	55-7	055+200	64	X-1AV			2	55-8	055+200	64	X-1AV		
	1	55-9	055+264	64	X-1AV			2	55-10	055+264	64	X-1AV		
	1	55-11	055+328	64	X-1AV			2	55-12	055+328	64	X-1AV		
	1	55-13	055+392	64	X-1AV			2	55-14	055+392	64	X-1AV		
	1	55-15	055+456	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	55-16	055+456	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	55-17	055+520	64	X-1AV	PF		2	55-18	055+520	64	X-1AV	PF	
	1	55-19	055+584	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	55-20	055+584	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	55-21	055+648	64	X-1AV			2	55-22	055+648	64	X-1AV		
	1	55-23	055+712	64	X-1AV			2	55-24	055+712	64	X-1AV		
	1	55-25	055+776	64	X-1AV			2	55-26	055+776	64	X-1AV		
	1	55-27	055+840	64	X-1AV			2	55-28	055+840	64	X-1AV		
	1	55-29	055+904	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	55-30	055+904	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	55-31	055+968	64	XC-2AV	SE		2	55-32	055+968	64	XC-2AV	SE	
	1	56-1	056+032	64	X-2AV	E		2	56-2	056+032	64	X-2AV	E	
	1	56-3	056+096	64	XC-2AV	SE		2	56-4	056+096	64	XC-2AV	SE	
	1	56-5	056+160	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	56-6	056+160	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	56-7	056+224	64	X-1AV			2	56-8	056+224	64	X-1AV		
	1	56-9	056+288	64	X-1AV			2	56-10	056+288	64	X-1AV		
	1	56-11	056+352	64	X-1AV			2	56-12	056+352	64	X-1AV		
	1	56-13	056+416	64	X-1AV			2	56-14	056+416	64	X-1AV		
	1	56-15	056+480	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	56-16	056+480	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	56-17	056+544	64	X-1AV	PF		2	56-18	056+544	64	X-1AV	PF	
	1	56-19	056+608	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	56-20	056+608	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	56-21	056+672	64	X-1AV			2	56-22	056+672	64	X-1AV		
	1	56-23	056+736	64	X-1AV			2	56-24	056+736	64	X-1AV		
	1	56-25	056+800	64	X-1AV			2	56-26	056+800	64	X-1AV		
	1	56-27	056+864	64	X-1AV			2	56-28	056+864	64	X-1AV		
	1	56-29	056+928	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	56-30	056+928	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	56-31	056+992	64	XC-2AV	SE		2	56-32	056+992	64	XC-2AV	SE	
	1	57-1	057+056	64	X-2AV	E		2	57-2	057+056	64	X-2AV	E	
	1	57-3	057+120	64	XC-2AV	SE		2	57-4	057+120	64	XC-2AV	SE	
	1	57-5	057+184	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	57-6	057+184	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	57-7	057+248	64	X-1AV			2	57-8	057+248	64	X-1AV		
	1	57-9	057+312	64	X-1AV			2	57-10	057+312	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	57-11	057+376	64	X-1AV			2	57-12	057+376	64	X-1AV		
1	57-13	057+440	64	X-1AV			2	57-14	057+440	64	X-1AV		
1	57-15	057+504	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	57-16	057+504	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	57-17	057+568	64	X-1AV	PF		2	57-18	057+568	64	X-1AV	PF	
1	57-19	057+632	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	57-20	057+632	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	57-21	057+696	64	X-1AV			2	57-22	057+696	64	X-1AV		
1	57-23	057+760	64	X-1AV			2	57-24	057+760	64	X-1AV		
1	57-25	057+824	64	X-1AV			2	57-26	057+824	64	X-1AV		
1	57-27	057+888	64	X-1AV			2	57-28	057+888	64	X-1AV		
1	57-29	057+952	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	57-30	057+952	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	58-1	058+016	64	XC-2AV	SE		2	58-2	058+016	64	XC-2AV	SE	
1	58-3	058+080	64	X-2AV	E		2	58-4	058+080	64	X-2AV	E	
1	58-5	058+144	64	XC-2AV	SE		2	58-6	058+144	64	XC-2AV	SE	
1	58-7	058+208	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	58-8	058+208	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	58-9	058+272	64	X-1AV			2	58-10	058+272	64	X-1AV		
1	58-11	058+336	64	X-1AV			2	58-12	058+336	64	X-1AV		
1	58-13	058+400	64	X-1AV			2	58-14	058+400	64	X-1AV		
1	58-15	058+464	64	X-1AV			2	58-16	058+464	64	X-1AV		
1	58-17	058+528	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	58-18	058+528	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	58-19	058+592	64	X-1AV	PF		2	58-20	058+592	64	X-1AV	PF	
1	58-21	058+656	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	58-22	058+656	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	58-23	058+720	64	X-1AV			2	58-24	058+720	64	X-1AV		
1	58-25	058+784	64	X-1AV			2	58-26	058+784	64	X-1AV		
1	58-27	058+848	64	X-1AV			2	58-28	058+848	64	X-1AV		
1	58-29	058+912	64	X-1AV			2	58-30	058+912	64	X-1AV		
1	58-31	058+976	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	58-32	058+976	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	59-1	059+040	64	XC-2AV	SE		2	59-2	059+040	64	XC-2AV	SE	
1	59-3	059+104	64	X-2AV	E		2	59-4	059+104	64	X-2AV	E	
1	59-5	059+168	64	XC-2AV	SE		2	59-6	059+168	64	XC-2AV	SE	
1	59-7	059+232	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	59-8	059+232	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	59-9	059+296	64	X-1AV			2	59-10	059+296	64	X-1AV		
1	59-11	059+360	64	X-1AV			2	59-12	059+360	64	X-1AV		
1	59-13	059+424	64	X-1AV			2	59-14	059+424	64	X-1AV		
1	59-15	059+488	64	X-1AV			2	59-16	059+488	64	X-1AV		
1	59-17	059+552	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	59-18	059+552	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	59-19	059+616	64	X-1AV	PF		2	59-20	059+616	64	X-1AV	PF	
1	59-21	059+680	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	59-22	059+680	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	59-23	059+744	64	X-1AV			2	59-24	059+744	64	X-1AV		
1	59-25	059+808	64	X-1AV			2	59-26	059+808	64	X-1AV		
1	59-27	059+872	64	X-1AV			2	59-28	059+872	64	X-1AV		
1	59-29	059+936	64	X-1AV			2	59-30	059+936	64	X-1AV		
1	60-1	060+000	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	60-2	060+000	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	60-3	060+064	64	XC-2AV	SE		2	60-4	060+064	64	XC-2AV	SE	
1	60-5	060+128	64	X-2AV	E		2	60-6	060+128	64	X-2AV	E	
1	60-7	060+192	64	XC-2AV	SE		2	60-8	060+192	64	XC-2AV	SE	
1	60-9	060+256	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	60-10	060+256	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	60-11	060+320	64	X-1AV			2	60-12	060+320	64	X-1AV		
1	60-13	060+384	64	X-1AV			2	60-14	060+384	64	X-1AV		
1	60-15	060+448	64	X-1AV			2	60-16	060+448	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	60-17	060+512	64	X-1AV			2	60-18	060+512	64	X-1AV		
1	60-19	060+576	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	60-20	060+576	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	60-21	060+640	64	X-1AV	PF		2	60-22	060+640	64	X-1AV	PF	
1	60-23	060+704	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	60-24	060+704	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	60-25	060+768	64	X-1AV			2	60-26	060+768	64	X-1AV		
1	60-27	060+832	64	X-1AV			2	60-28	060+832	64	X-1AV		
1	60-29	060+896	64	X-1AV			2	60-30	060+896	64	X-1AV		
1	60-31	060+960	64	X-1AV			2	60-32	060+960	64	X-1AV		
1	61-1	061+024	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	61-2	061+024	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	61-3	061+088	64	XC-2AV	SE		2	61-4	061+088	64	XC-2AV	SE	
1	61-5	061+152	64	X-2AV	E		2	61-6	061+152	64	X-2AV	E	
1	61-7	061+216	64	XC-2AV	SE		2	61-8	061+216	64	XC-2AV	SE	
1	61-9	061+280	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	61-10	061+280	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	61-11	061+344	64	X-1AV			2	61-12	061+344	64	X-1AV		
1	61-13	061+408	64	X-1AV			2	61-14	061+408	64	X-1AV		
1	61-15	061+472	64	X-1AV			2	61-16	061+472	64	X-1AV		
1	61-17	061+536	64	X-1AV			2	61-18	061+536	64	X-1AV		
1	61-19	061+600	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	61-20	061+600	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	61-21	061+664	64	X-1AV	PF		2	61-22	061+664	64	X-1AV	PF	
1	61-23	061+728	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	61-24	061+728	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	61-25	061+792	64	X-1AV			2	61-26	061+792	64	X-1AV		
1	61-27	061+856	64	X-1AV			2	61-28	061+856	64	X-1AV		
1	61-29	061+920	64	X-1AV			2	61-30	061+920	64	X-1AV		
1	61-31	061+984	64	X-1AV			2	61-32	061+984	64	X-1AV		
1	62-1	062+048	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	62-2	062+048	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	62-3	062+112	64	XC-2AV	SE		2	62-4	062+112	64	XC-2AV	SE	
1	62-5	062+176	64	X-2AV	E		2	62-6	062+176	64	X-2AV	E	
1	62-7	062+240	64	XC-2AV	SE		2	62-8	062+240	64	XC-2AV	SE	
1	62-9	062+304	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	62-10	062+304	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	62-11	062+368	64	X-1AV			2	62-12	062+368	64	X-1AV		
1	62-13	062+432	64	X-1AV			2	62-14	062+432	64	X-1AV		
1	62-15	062+496	64	X-1AV			2	62-16	062+496	64	X-1AV		
1	62-17	062+560	64	X-1AV			2	62-18	062+560	64	X-1AV		
1	62-19	062+624	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	62-20	062+624	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	62-21	062+688	64	X-1AV	PF		2	62-22	062+688	64	X-1AV	PF	
1	62-23	062+752	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	62-24	062+752	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	62-25	062+816	64	X-1AV			2	62-26	062+816	64	X-1AV		
1	62-27	062+880	64	X-1AV			2	62-28	062+880	64	X-1AV		
1	62-29	062+944	64	X-1AV			2	62-30	062+944	64	X-1AV		
1	63-1	063+008	64	X-1AV			2	63-2	063+008	64	X-1AV		
1	63-3	063+072	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	63-4	063+072	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	63-5	063+136	64	XC-2AV	SE		2	63-6	063+136	64	XC-2AV	SE	
1	63-7	063+200	64	X-2AV	E		2	63-8	063+200	64	X-2AV	E	
1	63-9	063+264	64	XC-2AV	SE		2	63-10	063+264	64	XC-2AV	SE	
1	63-11	063+328	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	63-12	063+328	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	63-13	063+392	64	X-1AV			2	63-14	063+392	64	X-1AV		
1	63-15	063+456	64	X-1AV			2	63-16	063+456	64	X-1AV		
1	63-17	063+520	64	X-1AV			2	63-18	063+520	64	X-1AV		
1	63-19	063+584	64	X-1AV			2	63-20	063+584	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
SE TORO	1	63-21	063+648	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	63-22	063+648	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	63-23	063+712	64	X-1AV	PF		2	63-24	063+712	64	X-1AV	PF	
	1	63-25	063+776	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	63-26	063+776	64	X-1AV	AnPF	000+576
	1	63-27	063+840	64	X-1AV			2	63-28	063+840	64	X-1AV		
	1	63-29	063+904	64	X-1AV			2	63-30	063+904	64	X-1AV		
	1	63-31	063+968	64	X-1AV			2	63-32	063+968	64	X-1AV		
	1	64-1	064+032	64	X-1AV			2	64-2	064+032	64	X-1AV		
	1	64-3	064+096	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	64-4	064+096	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	64-5	064+160	64	XC-2AV	SE		2	64-6	064+160	64	XC-2AV	SE	
	1	64-7	064+224	64	X-2AV	E		2	64-8	064+224	64	X-2AV	E	
	1	64-9	064+288	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	64-10	064+288	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	64-11	064+352	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	64-12	064+352	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	64-13	064+416	64	X-1AV	AnPF		2	64-14	064+416	64	X-1AV	AnPF	
	1	64-15	064+480	64	X-1AV	PF	384	2	64-16	064+480	64	X-1AV	PF	384
	1	64-17	064+544	64	X-1AV	AnPF		2	64-18	064+544	64	X-1AV	AnPF	
	1	64-19	064+608	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	64-20	064+608	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	64-21	064+672	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	64-22	064+672	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	64-23	064+736	64	X-2AV	E		2	64-24	064+736	64	X-2AV	E	
	1	64-25	064+800	64	XC-2AV	SE		2	64-26	064+800	64	XC-2AV	SE	
RO - PAET DE TORO	1	64-27	064+864	64	XL-3AV	A/S (CP)	768	2	64-28	064+864	64	XL-3AV	A/S (CP)	768
	1	64-29	064+928	64	X-1AV				64-30	064+928	64	X-1AV		
	1	64-31	064+992	64	X-1AV				64-32	064+992	64	X-1AV		
	1	65-1	065+056	64	X-1AV				65-2	065+056	64	X-1AV		
	1	65-3	065+120	64	X-1AV	AnPF	000+576		65-4	065+120	64	X-1AV	AnPF	000+576
	1	65-5	065+184	64	X-1AV	PF			65-6	065+184	64	X-1AV	PF	
	1	65-7	065+248	64	X-1AV	AnPF	000+576		65-8	065+248	64	X-1AV	AnPF	000+576
	1	65-9	065+312	64	X-1AV				65-10	065+312	64	X-1AV		
	1	65-11	065+376	64	X-1AV				65-12	065+376	64	X-1AV		
	1	65-13	065+440	64	X-1AV				65-14	065+440	64	X-1AV		
	1	65-15	065+504	64	XL-3AV	A/S (CP)			65-16	065+504	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	65-17	065+568	64	XC-2AV	SE			65-18	065+568	64	XC-2AV	SE	
	1	65-19	065+632	64	X-2AV	E			65-20	065+632	64	X-2AV	E	
	1	65-21	065+696	64	XC-2AV	SE			65-22	065+696	64	XC-2AV	SE	
	1	65-23	065+760	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152		65-24	065+760	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
	1	65-25	065+824	64	X-1AV				65-26	065+824	64	X-1AV		
	1	65-27	065+888	64	X-1AV				65-28	065+888	64	X-1AV		
	1	65-29	065+952	64	X-1AV	AnPF	000+512		65-30	065+952	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	66-1	066+016	64	X-1AV	PF			66-2	066+016	64	X-1AV	PF	
	1	66-3	066+080	64	X-1AV	AnPF	000+512		66-4	066+080	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	66-5	066+144	64	X-1AV				66-6	066+144	64	X-1AV		
	1	66-7	066+208	64	X-1AV				66-8	066+208	64	X-1AV		
	1	66-9	066+272	64	XL-3AV	A/S (CP)			66-10	066+272	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	66-11	066+336	64	XC-2AV	SE			66-12	066+336	64	XC-2AV	SE	
	1	66-13	066+400	64	X-2AV	E			66-14	066+400	64	X-2AV	E	
	1	66-15	066+464	64	XC-2AV	SE			66-16	066+464	64	XC-2AV	SE	
	1	66-17	066+528	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+024		66-18	066+528	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+024
	1	66-19	066+592	64	X-1AV				66-20	066+592	64	X-1AV		
	1	66-21	066+656	64	X-1AV				66-22	066+656	64	X-1AV		
	1	66-23	066+720	64	X-1AV	AnPF	000+506		66-24	066+720	64	X-1AV	AnPF	000+506



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
SE TC	1	66-25	066+784	64	X-1AV	PF			66-26	066+784	64	X-1AV	PF	
	1	66-27	066+848	64	X-1AV	AnPF	000+404		66-28	066+848	64	X-1AV	AnPF	000+404
	1	66-29	066+912	64	X-1AV				66-30	066+912	64	X-1AV		
	1	66-31	066+976	64	X-1AV				66-32	066+976	64	X-1AV		
	1	67-1	067+040	64	XL-3AV	A/S (CP)			67-2	067+040	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	67-3	067+104	64	XC-2AV	SE			67-4	067+104	64	XC-2AV	SE	
	1	67-5	067+168	64	X-2AV	E			67-6	067+168	64	X-2AV	E	
	1	67-7	067+232	64	XC-2AV	SE			67-8	067+232	64	XC-2AV	SE	
	1	67-9	067+296	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+024		67-10	067+296	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+024
	1	67-11	067+360	64	X-1AV				67-12	067+360	64	X-1AV		
	1	67-13	067+424	64	X-1AV				67-14	067+424	64	X-1AV		
	1	67-15	067+488	58	X-1AV	AnPF	000+506		67-16	067+488	58	X-1AV	AnPF	000+506
	1	67-17	067+546	54	X-1AV	PF			67-18	067+546	54	X-1AV	PF	
	1	67-19	067+600	50	X-1AV	AnPF	000+504		67-20	067+600	50	X-1AV	AnPF	000+504
	1	67-21	067+650	50	X-1AV	viaducto			67-22	067+650	50	X-1AV	viaducto	
	1	67-23	067+700	50	X-1AV	viaducto			67-24	067+700	50	X-1AV	viaducto	
	1	67-25	067+750	50	X-1AV	viaducto			67-26	067+750	50	X-1AV	viaducto	
	1	67-27	067+800	50	X-1AV	viaducto			67-28	067+800	50	X-1AV	viaducto	
	1	67-29	067+850	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+241		67-30	067+850	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	000+000
	1	67-31	067+900	50	XC-2AV	SE - viaducto			67-32	067+900	50	XC-2AV	SE - viaducto	
	1	67-33	067+950	50	X-2AV	E - viaducto			67-34	067+950	50	X-2AV	E - viaducto	
	1	68-1	068+000	50	XC-2AV	SE - viaducto			68-2	068+000	50	XC-2AV	SE - viaducto	
	1	68-3	068+050	54	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+010		68-4	068+050	54	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	001+010
TORO	1	68-5	068+104	64	X-1AV			2	68-6	068+104	64	XL-3AV	PA (CP) AN1	
	1	68-7	068+168	64	X-1AV			2	68-8	068+168	64	XC-2AV	PE	
	1	68-9	068+232	64	X-1AV			2	68-10	068+232	64	XL-4AV	PA (CP) AN2	
	1	68-11	068+296	64	X-1AV			2	68-12	068+296	64	XC-5AV	PE	
	1	68-13	068+360	58	X-1AV			2	68-14	068+360	58	X-5AV	P50	
	1	68-15	068+418	53	X-1AV	AnPF	000+621	2	68-16	068+418	53	X-5AV	P130 - AnPF	
	1	68-17	068+471	53	XL-5AV	PR=12m - PF		2	68-18	068+471	53	XL-5AV	PR=12m - PF	
	1	68-19	068+524	58	X-5AV	P130 - AnPF	000+620	2	68-20	068+524	58	X-1AV	AnPF	
	1	68-21	068+582	64	X-5AV	P50		2	68-22	068+582	64	X-1AV		
	1	68-23	068+646	64	XC-5AV	PE		2	68-24	068+646	64	X-1AV		
	1	68-25	068+710	64	XL-4AV	PA AN2		2	68-26	068+710	64	X-1AV		
	1	68-27	068+774	64	XC-2AV	PE		2	68-28	068+774	64	X-1AV		
	1	68-29	068+838	54	XL-3AV	PA AN1		2	68-30	068+838	54	X-1AV		
	1	68-31	068+892	49	XL-3AV	A/S (CP)	001+232	2	68-32	068+892	49	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	68-33	068+941	50	XC-2AV	SE		2	68-34	068+941	50	XC-2AV	SE	
	1	68-35	068+991	50	X-2AV	E		2	68-36	068+991	50	X-2AV	E	
	1	69-1	069+041	50	XCL-3AV	SE - PA (CP)		2	69-2	069+041	50	XCL-3AV	SE - PA (CP)	
	1	69-5	069+091	46	XCL-4AV	A/S (CP) - PE	001+241	2	69-6	069+091	46	XLC-4AV	A/S (CP) - PE	
	1	69-7	069+137	36	-	PR=22 m - P90		2	69-8	069+137	36	-	PR=22 m - P90	
	1	69-9	069+173	37	-	PR=22 m		2	69-10	069+173	37	-	PR=22 m	
	1	69-11	069+210	46	-	PR=22 m		2	69-12	069+210	46	-	PR=22 m	
	1	69-13	069+256	50	XC-4AV			2	69-14	069+256	50	XC-4AV		
	1	69-15	069+306	50	XL-4AV			2	69-16	069+306	50	XL-4AV		
	1	69-17	069+356	50	X-2AV			2	69-18	069+356	50	X-2AV		
	1	69-19	069+406	50	X-2AV			2	69-20	069+406	50	X-2AV		
	1	69-21	069+456	52	X-2AV	AnPF	000+616	2	69-22	069+456	52	X-2AV	AnPF	000+616



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón		VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
PAET DE	1	69-23	069+508	52	X-2AV	PF		2	69-24	069+508	52	X-2AV	PF		
	1	69-25	069+560	50	X-2AV	AnPF	000+616	2	69-26	069+560	50	X-2AV	AnPF		000+616
	1	69-27	069+610	50	X-2AV			2	69-28	069+610	50	X-2AV			
		69-29	069+660	50	X-2AV				69-30	069+660	50	X-2AV			
	1	69-31	069+710	50	XL-4AV			2	69-32	069+710	50	XL-4AV			
	1	69-33	069+760	46	XC-4AV			2	69-34	069+760	46	XC-4AV			
	1	69-35	069+806	36	-	PR=22 m		2	69-36	069+806	36	-	PR=22 m		
	1	69-37	069+842	37	-	PR=22 m		2	69-38	069+842	37	-	PR=22 m		
	1	69-39	069+879	46	-	PR=22 m - P90		2	69-40	069+879	46	-	PR=22 m - P90		
	1	69-41	069+925	50	XCL-4AV	PE - A/S (CP)		2	69-42	069+925	50	XCL-4AV	PE - A/S (CP)		071+205
	1	69-45	069+975	50	XCL-3AV	SE - PA		2	69-46	069+975	50	XCL-3AV	SE - PA		
	1	70-1	070+025	50	X-2AV	E		2	70-2	070+025	50	X-2AV	E		
	1	70-3	070+075	49	XC-2AV	SE		2	70-4	070+075	49	XC-2AV	SE		
	1	70-5	070+124	54	XL-3AV	A/S (CP)	001+232	2	70-6	070+124	54	XL-3AV	A/S (CP)		001+033
	1	70-7	070+178	64	XL-3AV	PA AN1		2	70-8	070+178	64	X-1AV			
	1	70-9	070+242	64	XC-2AV	PE		2	70-10	070+242	64	X-1AV			
	1	70-11	070+306	64	XL-4AV	PA AN2		2	70-12	070+306	64	X-1AV			
	1	70-13	070+370	64	XC-5AV	PE		2	70-14	070+370	64	X-1AV			
	1	70-15	070+434	58	X-5AV	P50 - AnPF	000+567	2	70-16	070+434	58	X-1AV	AnPF		000+567
	1	70-17	070+492	53	X-5AV	P130 - PF		2	70-18	070+492	53	X-1AV	PF		
	1	70-19	070+545	53	XL-5AV	PR=12m - AnPF	000+612	2	70-20	070+545	53	XL-5AV	PR=12m - AnPF		000+612
	1	70-21	070+598	58	X-1AV			2	70-22	070+598	58	X-5AV	P130		
	1	70-23	070+656	64	X-1AV			2	70-24	070+656	64	X-5AV	P50		
	1	70-25	070+720	64	X-1AV			2	70-26	070+720	64	XC-5AV	PE		
	1	70-27	070+784	64	X-1AV			2	70-28	070+784	64	XL-4AV	PA AN2		
	1	70-29	070+848	64	XL-3AV	A/S (CP)	072+128	2	70-30	070+848	64	XCL-2AV	PE - A/S (CP)		
	1	70-31	070+912	64	XC-2AV	SE		2	70-32	070+912	64	XCL-3AV	PA AN2 - SE		
	1	70-33	070+976	64	X-2AV	E		2	70-34	070+976	64	X-2AV	E		
	1	71-1	071+040	64	XC-2AV	SE		2	71-2	071+040	64	XC-2AV	SE		
	1	71-3	071+104	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	71-4	071+104	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1	71-5	071+168	64	X-1AV			2	71-6	071+168	64	X-1AV			
	1	71-7	071+232	64	X-1AV			2	71-8	071+232	64	X-1AV			
	1	71-9	071+296	64	X-1AV			2	71-10	071+296	64	X-1AV			
	1	71-11	071+360	64	X-1AV			2	71-12	071+360	64	X-1AV			
	1	71-13	071+424	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	71-14	071+424	64	X-1AV	AnPF		000+640
	1	71-15	071+488	64	X-1AV	PF		2	71-16	071+488	64	X-1AV	PF		
	1	71-17	071+552	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	71-18	071+552	64	X-1AV	AnPF		000+640
	1	71-19	071+616	64	X-1AV			2	71-20	071+616	64	X-1AV			
	1	71-21	071+680	64	X-1AV			2	71-22	071+680	64	X-1AV			
	1	71-23	071+744	64	X-1AV			2	71-24	071+744	64	X-1AV			
	1	71-25	071+808	64	X-1AV			2	71-26	071+808	64	X-1AV			
	1	71-27	071+872	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	71-28	071+872	64	XL-3AV	A/S (CP)		
	1	71-29	071+936	64	XC-2AV	SE		2	71-30	071+936	64	XC-2AV	SE		
	1	72-1	072+000	64	X-2AV	E		2	72-2	072+000	64	X-2AV	E		
	1	72-3	072+064	64	XC-2AV	SE		2	72-4	072+064	64	XC-2AV	SE		
	1	72-5	072+128	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	72-6	072+128	64	XL-3AV	A/S (CP)		001+280
	1	72-7	072+192	64	X-1AV			2	72-8	072+192	64	X-1AV			
	1	72-9	072+256	64	X-1AV			2	72-10	072+256	64	X-1AV			
	1	72-11	072+320	64	X-1AV			2	72-12	072+320	64	X-1AV			



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	72-13	072+384	64	X-1AV			2	72-14	072+384	64	X-1AV		
1	72-15	072+448	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	72-16	072+448	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	72-17	072+512	64	X-1AV	PF		2	72-18	072+512	64	X-1AV	PF	
1	72-19	072+576	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	72-20	072+576	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	72-21	072+640	64	X-1AV			2	72-22	072+640	64	X-1AV		
1	72-23	072+704	64	X-1AV			2	72-24	072+704	64	X-1AV		
1	72-25	072+768	64	X-1AV			2	72-26	072+768	64	X-1AV		
1	72-27	072+832	64	X-1AV			2	72-28	072+832	64	X-1AV		
1	72-29	072+896	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	72-30	072+896	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	72-31	072+960	64	XC-2AV	SE		2	72-32	072+960	64	XC-2AV	SE	
1	73-1	073+024	64	X-2AV	E		2	73-2	073+024	64	X-2AV	E	
1	73-3	073+088	64	XC-2AV	SE		2	73-4	073+088	64	XC-2AV	SE	
1	73-5	073+152	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	73-6	073+152	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	73-7	073+216	64	X-1AV			2	73-8	073+216	64	X-1AV		
1	73-9	073+280	64	X-1AV			2	73-10	073+280	64	X-1AV		
1	73-11	073+344	64	X-1AV			2	73-12	073+344	64	X-1AV		
1	73-13	073+408	64	X-1AV			2	73-14	073+408	64	X-1AV		
1	73-15	073+472	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	73-16	073+472	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	73-17	073+536	64	X-1AV	PF		2	73-18	073+536	64	X-1AV	PF	
1	73-19	073+600	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	73-20	073+600	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	73-21	073+664	64	X-1AV			2	73-22	073+664	64	X-1AV		
1	73-23	073+728	64	X-1AV			2	73-24	073+728	64	X-1AV		
1	73-25	073+792	64	X-1AV			2	73-26	073+792	64	X-1AV		
1	73-27	073+856	64	X-1AV			2	73-28	073+856	64	X-1AV		
1	73-29	073+920	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	73-30	073+920	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	73-31	073+984	64	XC-2AV	SE		2	73-32	073+984	64	XC-2AV	SE	
1	74-1	074+048	64	X-2AV	E		2	74-2	074+048	64	X-2AV	E	
1	74-3	074+112	64	XC-2AV	SE		2	74-4	074+112	64	XC-2AV	SE	
1	74-5	074+176	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	74-6	074+176	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	74-7	074+240	64	X-1AV			2	74-8	074+240	64	X-1AV		
1	74-9	074+304	64	X-1AV			2	74-10	074+304	64	X-1AV		
1	74-11	074+368	62	X-1AV	AnPF	000+510	2	74-12	074+368	62	X-1AV	AnPF	000+510
1	74-13	074+430	60	X-1AV	PF		2	74-14	074+430	60	X-1AV	PF	
1	74-15	074+490	60	X-1AV	AnPF	000+520	2	74-16	074+490	60	X-1AV	AnPF	000+520
1	74-17	074+550	50	X-1AV	viaducto		2	74-18	074+550	50	X-1AV	viaducto	
1	74-19	074+600	50	X-1AV	viaducto		2	74-20	074+600	50	X-1AV	viaducto	
1	74-21	074+650	50	X-1AV	viaducto		2	74-22	074+650	50	X-1AV	viaducto	
1	74-23	074+700	50	X-1AV	viaducto		2	74-24	074+700	50	X-1AV	viaducto	
1	74-25	074+750	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto		2	74-26	074+750	50	XL-3AV	A/S (CP) - viaducto	
1	74-27	074+800	50	XC-2AV	SE - viaducto		2	74-28	074+800	50	XC-2AV	SE - viaducto	
1	74-29	074+850	50	X-2AV	E - viaducto		2	74-30	074+850	50	X-2AV	E - viaducto	
1	74-31	074+900	50	XC-2AV	SE - viaducto		2	74-32	074+900	50	XC-2AV	SE - viaducto	
1	74-33	074+950	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+030	2	74-34	074+950	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+030
1	75-1	075+010	60	X-1AV			2	75-2	075+010	60	X-1AV		
1	75-3	075+070	62	X-1AV			2	75-4	075+070	62	X-1AV		
1	75-5	075+132	64	X-1AV			2	75-6	075+132	64	X-1AV		
1	75-7	075+196	64	X-1AV			2	75-8	075+196	64	X-1AV		
1	75-9	075+260	64	X-1AV	AnPF	000+602	2	75-10	075+260	64	X-1AV	AnPF	000+602
1	75-11	075+324	64	X-1AV	PF		2	75-12	075+324	64	X-1AV	PF	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	75-13	075+388	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	75-14	075+388	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	75-15	075+452	64	X-1AV			2	75-16	075+452	64	X-1AV		
1	75-17	075+516	64	X-1AV			2	75-18	075+516	64	X-1AV		
1	75-19	075+580	64	X-1AV			2	75-20	075+580	64	X-1AV		
1	75-21	075+644	64	X-1AV			2	75-22	075+644	64	X-1AV		
1	75-23	075+708	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	75-24	075+708	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	75-25	075+772	64	XC-2AV	SE		2	75-26	075+772	64	XC-2AV	SE	
1	75-27	075+836	64	X-2AV	E		2	75-28	075+836	64	X-2AV	E	
1	75-29	075+900	64	XC-2AV	SE		2	75-30	075+900	64	XC-2AV	SE	
1	75-31	075+964	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+214	2	75-32	075+964	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+214
1	76-1	076+028	64	X-1AV			2	76-2	076+028	64	X-1AV		
1	76-3	076+092	64	X-1AV			2	76-4	076+092	64	X-1AV		
1	76-5	076+156	64	X-1AV			2	76-6	076+156	64	X-1AV		
1	76-7	076+220	64	X-1AV			2	76-8	076+220	64	X-1AV		
1	76-9	076+284	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	76-10	076+284	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	76-11	076+348	64	X-1AV	PF		2	76-12	076+348	64	X-1AV	PF	
1	76-13	076+412	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	76-14	076+412	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	76-15	076+476	64	X-1AV			2	76-16	076+476	64	X-1AV		
1	76-17	076+540	64	X-1AV			2	76-18	076+540	64	X-1AV		
1	76-19	076+604	64	X-1AV			2	76-20	076+604	64	X-1AV		
1	76-21	076+668	64	X-1AV			2	76-22	076+668	64	X-1AV		
1	76-23	076+732	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	76-24	076+732	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	76-25	076+796	64	XC-2AV	SE		2	76-26	076+796	64	XC-2AV	SE	
1	76-27	076+860	64	X-2AV	E		2	76-28	076+860	64	X-2AV	E	
1	76-29	076+924	64	XC-2AV	SE		2	76-30	076+924	64	XC-2AV	SE	
1	76-31	076+988	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	76-32	076+988	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	77-1	077+052	64	X-1AV			2	77-2	077+052	64	X-1AV		
1	77-3	077+116	64	X-1AV			2	77-4	077+116	64	X-1AV		
1	77-5	077+180	64	X-1AV			2	77-6	077+180	64	X-1AV		
1	77-7	077+244	64	X-1AV			2	77-8	077+244	64	X-1AV		
1	77-9	077+308	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	77-10	077+308	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	77-11	077+372	64	X-1AV	PF		2	77-12	077+372	64	X-1AV	PF	
1	77-13	077+436	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	77-14	077+436	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	77-15	077+500	64	X-1AV			2	77-16	077+500	64	X-1AV		
1	77-17	077+564	64	X-1AV			2	77-18	077+564	64	X-1AV		
1	77-19	077+628	64	X-1AV			2	77-20	077+628	64	X-1AV		
1	77-21	077+692	64	X-1AV			2	77-22	077+692	64	X-1AV		
1	77-23	077+756	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	77-24	077+756	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	77-25	077+820	64	XC-2AV	SE		2	77-26	077+820	64	XC-2AV	SE	
1	77-27	077+884	64	X-2AV	E		2	77-28	077+884	64	X-2AV	E	
1	77-29	077+948	64	XC-2AV	SE		2	77-30	077+948	64	XC-2AV	SE	
1	78-1	078+012	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	78-2	078+012	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	78-3	078+076	64	X-1AV			2	78-4	078+076	64	X-1AV		
1	78-5	078+140	64	X-1AV			2	78-6	078+140	64	X-1AV		
1	78-7	078+204	64	X-1AV			2	78-8	078+204	64	X-1AV		
1	78-9	078+268	64	X-1AV			2	78-10	078+268	64	X-1AV		
1	78-11	078+332	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	78-12	078+332	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	78-13	078+396	64	X-1AV	PF		2	78-14	078+396	64	X-1AV	PF	
1	78-15	078+460	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	78-16	078+460	64	X-1AV	AnPF	000+640



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
PAET DE TORO - PB CORESES	1	78-17	078+524	64	X-1AV			2	78-18	078+524	64	X-1AV		
	1	78-19	078+588	64	X-1AV			2	78-20	078+588	64	X-1AV		
	1	78-21	078+652	64	X-1AV			2	78-22	078+652	64	X-1AV		
	1	78-23	078+716	64	X-1AV			2	78-24	078+716	64	X-1AV		
	1	78-25	078+780	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	78-26	078+780	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	78-27	078+844	64	XC-2AV	SE		2	78-28	078+844	64	XC-2AV	SE	
	1	78-29	078+908	64	X-2AV	E		2	78-30	078+908	64	X-2AV	E	
	1	78-31	078+972	64	XC-2AV	SE		2	78-32	078+972	64	XC-2AV	SE	
	1	79-1	079+036	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	79-2	079+036	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	79-3	079+100	64	X-1AV			2	79-4	079+100	64	X-1AV		
	1	79-5	079+164	64	X-1AV			2	79-6	079+164	64	X-1AV		
	1	79-7	079+228	64	X-1AV			2	79-8	079+228	64	X-1AV		
	1	79-9	079+292	64	X-1AV			2	79-10	079+292	64	X-1AV		
	1	79-11	079+356	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	79-12	079+356	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	79-13	079+420	64	X-1AV	PF		2	79-14	079+420	64	X-1AV	PF	
	1	79-15	079+484	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	79-16	079+484	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	79-17	079+548	64	X-1AV			2	79-18	079+548	64	X-1AV		
	1	79-19	079+612	64	X-1AV			2	79-20	079+612	64	X-1AV		
	1	79-21	079+676	64	X-1AV			2	79-22	079+676	64	X-1AV		
	1	79-23	079+740	64	X-1AV			2	79-24	079+740	64	X-1AV		
	1	79-25	079+804	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	79-26	079+804	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	79-27	079+868	64	XC-2AV	SE		2	79-28	079+868	64	XC-2AV	SE	
	1	79-29	079+932	64	X-2AV	E		2	79-30	079+932	64	X-2AV	E	
	1	79-31	079+996	64	XC-2AV	SE		2	79-32	079+996	64	XC-2AV	SE	
	1	80-1	080+060	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	80-2	080+060	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	80-3	080+124	64	X-1AV			2	80-4	080+124	64	X-1AV		
	1	80-5	080+188	64	X-1AV			2	80-6	080+188	64	X-1AV		
	1	80-7	080+252	64	X-1AV			2	80-8	080+252	64	X-1AV		
	1	80-9	080+316	64	X-1AV			2	80-10	080+316	64	X-1AV		
	1	80-11	080+380	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	80-12	080+380	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	80-13	080+444	64	X-1AV	PF		2	80-14	080+444	64	X-1AV	PF	
	1	80-15	080+508	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	80-16	080+508	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	80-17	080+572	64	X-1AV			2	80-18	080+572	64	X-1AV		
	1	80-19	080+636	64	X-1AV			2	80-20	080+636	64	X-1AV		
	1	80-21	080+700	64	X-1AV			2	80-22	080+700	64	X-1AV		
	1	80-23	080+764	64	X-1AV			2	80-24	080+764	64	X-1AV		
	1	80-25	080+828	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	80-26	080+828	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	80-27	080+892	64	XC-2AV	SE		2	80-28	080+892	64	XC-2AV	SE	
	1	80-29	080+956	64	X-2AV	E		2	80-30	080+956	64	X-2AV	E	
	1	81-1	081+020	64	XC-2AV	SE		2	81-2	081+020	64	XC-2AV	SE	
	1	81-3	081+084	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	81-4	081+084	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	81-5	081+148	64	X-1AV			2	81-6	081+148	64	X-1AV		
	1	81-7	081+212	64	X-1AV			2	81-8	081+212	64	X-1AV		
	1	81-9	081+276	64	X-1AV			2	81-10	081+276	64	X-1AV		
	1	81-11	081+340	64	X-1AV			2	81-12	081+340	64	X-1AV		
	1	81-13	081+404	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	81-14	081+404	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	81-15	081+468	64	X-1AV	PF		2	81-16	081+468	64	X-1AV	PF	
	1	81-17	081+532	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	81-18	081+532	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	81-19	081+596	64	X-1AV			2	81-20	081+596	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	81-21	081+660	64	X-1AV			2	81-22	081+660	64	X-1AV		
1	81-23	081+724	64	X-1AV			2	81-24	081+724	64	X-1AV		
1	81-25	081+788	64	X-1AV			2	81-26	081+788	64	X-1AV		
1	81-27	081+852	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	81-28	081+852	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	81-29	081+916	64	XC-2AV	SE		2	81-30	081+916	64	XC-2AV	SE	
1	81-31	081+980	64	X-2AV	E		2	81-32	081+980	64	X-2AV	E	
1	82-1	082+044	64	XC-2AV	SE		2	82-2	082+044	64	XC-2AV	SE	
1	82-3	082+108	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	82-4	082+108	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	82-5	082+172	64	X-1AV			2	82-6	082+172	64	X-1AV		
1	82-7	082+236	64	X-1AV			2	82-8	082+236	64	X-1AV		
1	82-9	082+300	64	X-1AV			2	82-10	082+300	64	X-1AV		
1	82-11	082+364	64	X-1AV			2	82-12	082+364	64	X-1AV		
1	82-13	082+428	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	82-14	082+428	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	82-15	082+492	64	X-1AV	PF		2	82-16	082+492	64	X-1AV	PF	
1	82-17	082+556	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	82-18	082+556	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	82-19	082+620	64	X-1AV			2	82-20	082+620	64	X-1AV		
1	82-21	082+684	64	X-1AV			2	82-22	082+684	64	X-1AV		
1	82-23	082+748	64	X-1AV			2	82-24	082+748	64	X-1AV		
1	82-25	082+812	64	X-1AV			2	82-26	082+812	64	X-1AV		
1	82-27	082+876	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	82-28	082+876	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	82-29	082+940	64	XC-2AV	SE		2	82-30	082+940	64	XC-2AV	SE	
1	83-1	083+004	64	X-2AV	E		2	83-2	083+004	64	X-2AV	E	
1	83-3	083+068	64	XC-2AV	SE		2	83-4	083+068	64	XC-2AV	SE	
1	83-5	083+132	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	83-6	083+132	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	83-7	083+196	64	X-1AV			2	83-8	083+196	64	X-1AV		
1	83-9	083+260	64	X-1AV			2	83-10	083+260	64	X-1AV		
1	83-11	083+324	64	X-1AV			2	83-12	083+324	64	X-1AV		
1	83-13	083+388	64	X-1AV			2	83-14	083+388	64	X-1AV		
1	83-15	083+452	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	83-16	083+452	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	83-17	083+516	64	X-1AV	PF		2	83-18	083+516	64	X-1AV	PF	
1	83-19	083+580	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	83-20	083+580	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	83-21	083+644	64	X-1AV			2	83-22	083+644	64	X-1AV		
1	83-23	083+708	64	X-1AV			2	83-24	083+708	64	X-1AV		
1	83-25	083+772	64	X-1AV			2	83-26	083+772	64	X-1AV		
1	83-27	083+836	64	X-1AV			2	83-28	083+836	64	X-1AV		
1	83-29	083+900	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	83-30	083+900	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	83-31	083+964	64	XC-2AV	SE		2	83-32	083+964	64	XC-2AV	SE	
1	84-1	084+028	64	X-2AV	E		2	84-2	084+028	64	X-2AV	E	
1	84-3	084+092	64	XC-2AV	SE		2	84-4	084+092	64	XC-2AV	SE	
1	84-5	084+156	62	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	84-6	084+156	62	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	84-7	084+218	60	X-1AV			2	84-8	084+218	60	X-1AV		
1	84-9	084+278	55	X-1AV			2	84-10	084+278	55	X-1AV		
1	84-11	084+333	50	X-1AV	AnPF- viaducto	000+483	2	84-12	084+333	50	X-1AV	viaducto	
1	84-13	084+383	50	X-1AV	PF - viaducto		2	84-14	084+383	50	X-1AV	AnPF- viaducto	000+533
1	84-15	084+433	50	X-1AV	AnPF- viaducto	000+506	2	84-16	084+433	50	X-1AV	PF - viaducto	
1	84-17	084+483	50	X-1AV	viaducto		2	84-18	084+483	50	X-1AV	AnPF- viaducto	000+520
1	84-19	084+533	50	X-1AV	viaducto		2	84-20	084+533	50	X-1AV	viaducto	
1	84-21	084+583	55	X-1AV			2	84-22	084+583	55	X-1AV		
1	84-23	084+638	60	XL-3AV	A/S (CP)		2	84-24	084+638	60	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	84-25	084+698	63	XC-2AV	SE		2	84-26	084+698	63	XL-3AV	A/S (CP)	
1	84-27	084+761	64	X-2AV	E		2	84-28	084+761	64	XC-2AV	SE	
1	84-29	084+825	64	XC-2AV	SE		2	84-30	084+825	64	X-2AV	E	
1	84-31	084+889	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+989	2	84-32	084+889	64	XC-2AV	SE	
1	84-33	084+953	64	X-1AV			2	84-34	084+953	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+053
1	85-1	085+017	64	X-1AV			2	85-2	085+017	64	X-1AV		
1	85-3	085+081	64	X-1AV			2	85-4	085+081	64	X-1AV		
1	85-5	085+145	64	X-1AV			2	85-6	085+145	64	X-1AV		
1	85-7	085+209	64	X-1AV	AnPF	000+635	2	85-8	085+209	64	X-1AV		
1	85-9	085+273	64	X-1AV	PF		2	85-10	085+273	64	X-1AV	AnPF	000+639
1	85-11	085+337	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	85-12	085+337	64	X-1AV	PF	
1	85-13	085+401	64	X-1AV			2	85-14	085+401	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	85-15	085+465	64	X-1AV			2	85-16	085+465	64	X-1AV		
1	85-17	085+529	64	X-1AV			2	85-18	085+529	64	X-1AV		
1	85-19	085+593	64	X-1AV			2	85-20	085+593	64	X-1AV		
1	85-21	085+657	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	85-22	085+657	64	X-1AV		
1	85-23	085+721	64	XC-2AV	SE		2	85-24	085+721	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	85-25	085+785	64	X-2AV	E		2	85-26	085+785	64	XC-2AV	SE	
1	85-27	085+849	64	XC-2AV	SE		2	85-28	085+849	64	X-2AV	E	
1	85-29	085+913	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+275	2	85-30	085+913	64	XC-2AV	SE	
1	85-31	085+977	64	X-1AV			2	85-32	085+977	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+279
1	86-1	086+041	64	X-1AV			2	86-2	086+041	64	X-1AV		
1	86-3	086+105	64	X-1AV			2	86-4	086+105	64	X-1AV		
1	86-5	086+169	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	86-6	086+169	64	X-1AV		
1	86-7	086+233	64	X-1AV	PF		2	86-8	086+233	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	86-9	086+297	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	86-10	086+297	64	X-1AV	PF	
1	86-11	086+361	64	X-1AV			2	86-12	086+361	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	86-13	086+425	64	X-1AV			2	86-14	086+425	64	X-1AV		
1	86-15	086+489	64	X-1AV			2	86-16	086+489	64	X-1AV		
1	86-17	086+553	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	86-18	086+553	64	X-1AV		
1	86-19	086+617	64	XC-2AV	SE		2	86-20	086+617	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	86-21	086+681	64	X-2AV	E		2	86-22	086+681	64	XC-2AV	SE	
1	86-23	086+745	64	XC-2AV	SE		2	86-24	086+745	64	X-2AV	E	
1	86-25	086+809	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	86-26	086+809	64	XC-2AV	SE	
1	86-27	086+873	64	X-1AV			2	86-28	086+873	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152
1	86-29	086+937	64	X-1AV			2	86-30	086+937	64	X-1AV		
1	87-1	087+001	64	X-1AV			2	87-2	087+001	64	X-2AV	P90	
1	87-3	087+065	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	87-4	087+065	64	XC-2AV	PE - AnPF	000+512
1	87-5	087+129	64	X-1AV	PF		2	87-6	087+129	64	XL-3AV	PA (CP) - PF	
1	87-7	087+193	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	87-8	087+193	64	X-1AV	AnPF	000+448
1	87-9	087+257	64	X-1AV			2	87-10	087+257	64	X-1AV		
1	87-11	087+321	64	X-1AV			2	87-12	087+321	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+000
1	87-13	087+385	64	X-1AV			2	87-14	087+385	64	XC-2AV	SE	
1	87-15	087+449	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+252	2	87-16	087+449	64	X-2AV	E	
1	87-17	087+513	64	XC-2AV	SE		2	87-18	087+513	64	XC-2AV	SE	
1	87-19	087+577	64	X-2AV	E		2	87-20	087+577	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+960
1	87-21	087+641	64	XC-2AV	SE		2	87-22	087+641	64	X-1AV		
1	87-23	087+705	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+152	2	87-24	087+705	64	X-1AV		
1	87-25	087+769	64	X-1AV			2	87-26	087+769	64	X-1AV	AnPF	000+512



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
	1	87-27	087+833	64	X-1AV			2	87-28	087+833	64	X-1AV	PF	
	1	87-29	087+897	64	X-1AV			2	87-30	087+897	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	87-31	087+961	64	X-1AV			2	87-32	087+961	64	X-1AV		
	1	88-1	088+025	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	88-2	088+025	64	X-1AV		
	1	88-3	088+089	64	X-1AV	PF		2	88-4	088+089	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+111
	1	88-5	088+153	64	X-1AV	AnPF	000+612	2	88-6	088+153	64	XC-2AV	SE	
	1	88-7	088+217	64	X-1AV			2	88-8	088+217	64	X-2AV	E	
	1	88-9	088+281	64	X-1AV			2	88-10	088+281	64	XCL-3AV	PA (CP) AN1 - SE	
	1	88-11	088+345	64	X-1AV			2	88-12	088+345	64	XCL-3AV	PE - A/S (CP)	001+024
PB DE CORESES	1	88-13	088+409	64	X-1AV			2	88-14	088+409	64	XL-4AV	PA (CP) AN2	
	1	88-15	088+473	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+265	2	88-16	088+473	64	XC-5AV	PE	
	1	88-17	088+537	58	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	88-18	088+537	58	X-5AV	P50	
	1	88-19	088+595	53	X-2AV	E		2	88-20	088+595	53	X-5AV	P130 - AnPF	000+559
	1	88-21	088+648	53	XL-5AV	PR=12m - SE		2	88-22	088+648	53	X-1AV	PR=12m - PF	
	1	88-23	088+701	58	XL-5AV	P130 - A/S (CP)	001+252	2	88-24	088+701	58	X-1AV	AnPF	000+552
	1	88-25	088+759	64	X-5AV	P50		2	88-26	088+759	64	X-1AV		
	1	88-27	088+823	64	XC-5AV	PE		2	88-28	088+823	64	X-1AV		
	1	88-29	088+887	64	XL-4AV	PA AN2		2	88-30	088+887	64	X-1AV		
	1	88-31	088+951	60	XC-2AV	PE		2	88-32	088+951	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+171
	1	89-1	089+011	50	XL-3AV	PA AN1		2	89-2	089+011	50	XC-2AV	SE	
	1	89-3	089+061	44	X-1AV	AnPF	000+632	2	89-4	089+061	44	X-2AV	E	
	1	89-5	089+105	44	X-1AV	PF		2	89-6	089+105	44	X-2AV	E	
	1	89-7	089+149	51	X-1AV	AnPF	000+633	2	89-8	089+149	51	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	89-9	089+200	60	XL-3AV	PA (CP) AN1		2	89-10	089+200	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+111
	1	89-11	089+260	64	XC-2AV	PE		2	89-12	089+260	64	X-1AV		
	1	89-13	089+324	64	XL-4AV	PA (CP) AN2		2	89-14	089+324	64	X-1AV		
	1	89-15	089+388	64	XC-5AV	PE		2	89-16	089+388	64	X-1AV		
	1	89-17	089+452	58	X-5AV	P50		2	89-18	089+452	58	X-1AV	AnPF	000+559
	1	89-19	089+510	53	XL-5AV	P130 - A/S (CP)	000+000	2	89-20	089+510	53	X-1AV	PF	
	1	89-21	089+563	53	XL-5AV	PR=12m - SE		2	89-22	089+563	53	XL-5AV	PR=12m - AnPF	000+612
	1	89-23	089+616	58	X-2AV	E		2	89-24	089+616	58	X-5AV	P130	
	1	89-25	089+674	64	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	89-26	089+674	64	X-5AV	P50	
	1	89-27	089+738	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+265	2	89-28	089+738	64	XC-5AV	PE	
	1	89-29	089+802	64	X-1AV			2	89-30	089+802	64	XL-4AV	PA AN2	
	1	89-31	089+866	64	X-1AV			2	89-32	089+866	64	XCL-3AV	PE - A/S (CP)	
	1	89-33	089+930	64	X-1AV			2	89-34	089+930	64	XCL-3AV	PA - SE	
	1	89-35	089+994	64	X-1AV			2	89-36	089+994	64	X-2AV	E	
	1	90-1	090+058	64	X-1AV	AnPF	000+612	2	90-2	090+058	64	XC-2AV	SE	
	1	90-3	090+122	64	X-1AV	PF		2	90-4	090+122	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+171
	1	90-5	090+186	64	X-1AV	AnPF	000+627	2	90-6	090+186	64	X-1AV		
	1	90-7	090+250	64	X-1AV			2	90-8	090+250	64	X-1AV		
	1	90-9	090+314	64	X-1AV			2	90-10	090+314	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	90-11	090+378	64	X-1AV			2	90-12	090+378	64	X-1AV	PF	
	1	90-13	090+442	64	X-1AV			2	90-14	090+442	64	X-1AV	AnPF	000+461
	1	90-15	090+506	64	XL-3AV	A/S (CP)	000+000	2	90-16	090+506	64	X-1AV		
	1	90-17	090+570	64	XC-2AV	SE		2	90-18	090+570	64	X-1AV		
	1	90-19	090+634	60	X-2AV	E		2	90-20	090+634	60	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	90-21	090+694	55	XC-2AV	SE		2	90-22	090+694	55	XC-2AV	SE	
	1	90-23	090+749	45	XL-5AV	A/S (CP)	001+239	2	90-24	090+749	45	X-4AV	E	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
PB DE CORESES - Z.N. ATF 3.1	1	90-25	090+794	45	X-2AV			2	90-26	090+794	45	XC-5AV	SE	
	1	90-27	090+839	45	X-2AV			2	90-28	090+839	45	XL-5AV	A/S (CP)	000+973
	1	90-29	090+884	55	X-1AV			2	90-30	090+884	55	X-1AV		
	1	91-1	090+939	60	X-1AV			2	91-2	090+939	60	X-1AV		
	1	91-3	090+999	64	X-1AV	AnPF	000+557	2	91-4	090+999	64	X-1AV		
	1	91-5	091+063	64	X-1AV	PF		2	91-6	091+063	64	X-1AV	AnPF	000+493
	1	91-7	091+127	64	X-1AV	AnPF	000+576	2	91-8	091+127	64	X-1AV	PF	
	1	91-9	091+191	64	X-1AV			2	91-10	091+191	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	91-11	091+255	64	X-1AV			2	91-12	091+255	64	X-1AV		
	1	91-13	091+319	64	X-1AV			2	91-14	091+319	64	X-1AV		
	1	91-15	091+383	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	91-16	091+383	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	91-17	091+447	64	XC-2AV	SE		2	91-18	091+447	64	XC-2AV	SE	
	1	91-19	091+511	64	X-2AV	E		2	91-20	091+511	64	X-2AV	E	
	1	91-21	091+575	64	XC-2AV	SE		2	91-22	091+575	64	XC-2AV	SE	
	1	91-23	091+639	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+133	2	91-24	091+639	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+005
	1	91-25	091+703	64	X-1AV			2	91-26	091+703	64	X-1AV		
	1	91-27	091+767	64	X-1AV			2	91-28	091+767	64	X-1AV		
	1	91-29	091+831	64	X-1AV	AnPF	000+512	2	91-30	091+831	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	91-31	091+895	64	X-1AV	PF		2	91-32	091+895	64	X-1AV	PF	
	1	92-1	091+959	64	X-1AV	AnPF	000+512	2	92-2	091+959	64	X-1AV	AnPF	000+512
	1	92-3	092+023	64	X-1AV			2	92-4	092+023	64	X-1AV		
	1	92-5	092+087	64	X-1AV			2	92-6	092+087	64	X-1AV		
	1	92-7	092+151	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	92-8	092+151	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	92-9	092+215	64	XC-2AV	SE		2	92-10	092+215	64	XC-2AV	SE	
	1	92-11	092+279	64	X-2AV	E		2	92-12	092+279	64	X-2AV	E	
	1	92-13	092+343	64	XC-2AV	SE		2	92-14	092+343	64	XC-2AV	SE	
	1	92-15	092+407	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+088	2	92-16	092+407	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+088
	1	92-17	092+471	64	X-1AV			2	92-18	092+471	64	X-1AV		
	1	92-19	092+535	64	X-1AV			2	92-20	092+535	64	X-1AV		
	1	92-21	092+599	64	X-1AV			2	92-22	092+599	64	X-1AV		
	1	92-23	092+663	64	X-1AV			2	92-24	092+663	64	X-1AV		
	1	92-25	092+727	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	92-26	092+727	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	92-27	092+791	64	X-1AV	PF		2	92-28	092+791	64	X-1AV	PF	
	1	92-29	092+855	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	92-30	092+855	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	92-31	092+919	64	X-1AV			2	92-32	092+919	64	X-1AV		
	1	93-1	092+983	64	X-1AV			2	93-2	092+983	64	X-1AV		
	1	93-3	093+047	64	X-1AV			2	93-4	093+047	64	X-1AV		
	1	93-5	093+111	64	X-1AV			2	93-6	093+111	64	X-1AV		
	1	93-7	093+175	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	93-8	093+175	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	93-9	093+239	64	XC-2AV	SE		2	93-10	093+239	64	XC-2AV	SE	
	1	93-11	093+303	64	X-2AV	E		2	93-12	093+303	64	X-2AV	E	
	1	93-13	093+367	64	XC-2AV	SE		2	93-14	093+367	64	XC-2AV	SE	
	1	93-15	093+431	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	93-16	093+431	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	93-17	093+495	64	X-1AV			2	93-18	093+495	64	X-1AV		
	1	93-19	093+559	64	X-1AV			2	93-20	093+559	64	X-1AV		
	1	93-21	093+623	64	X-1AV			2	93-22	093+623	64	X-1AV		
	1	93-23	093+687	64	X-1AV			2	93-24	093+687	64	X-1AV		
	1	93-25	093+751	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	93-26	093+751	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	93-27	093+815	64	X-1AV	PF		2	93-28	093+815	64	X-1AV	PF	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
	1	93-29	093+879	64	X-1AV	AnPF	000+625	2	93-30	093+879	64	X-1AV	AnPF	000+625
	1	93-31	093+943	64	X-1AV			2	93-32	093+943	64	X-1AV		
	1	94-1	094+007	64	X-1AV			2	94-2	094+007	64	X-1AV		
	1	94-3	094+071	64	X-1AV			2	94-4	094+071	64	X-1AV		
	1	94-5	094+135	64	X-1AV			2	94-6	094+135	64	X-1AV		
	1	94-7	094+199	64	XL-3AV	A/S (CP)		2	94-8	094+199	64	XL-3AV	A/S (CP)	
	1	94-9	094+263	64	XC-2AV	SE		2	94-10	094+263	64	XC-2AV	SE	
	1	94-11	094+327	58	X-2AV	E		2	94-12	094+327	58	X-2AV	E	
	1	94-13	094+385	55	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	94-14	094+385	55	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	94-15	094+440	55	XL-3AV	A/S (CP)	001+265	2	94-16	094+440	55	XL-3AV	A/S (CP)	001+265
	1	94-17	094+495	45	X-1AV			2	94-18	094+495	45	X-1AV		
	1	94-19	094+540	45	X-2AV			2	94-20	094+540	45	X-2AV		
	1	94-21	094+585	45	X-2AV			2	94-22	094+585	45	X-2AV		
	1	94-23	094+630	45	X-2AV			2	94-24	094+630	45	X-2AV		
	1	94-25	094+675	45	X-3AV	AnPF	000+457	2	94-26	094+675	45	X-3AV	AnPF	000+457
	1	94-21	094+720	45	X-3AV	PF		2	94-22	094+720	45	X-3AV	PF	
	1	94-23	094+765	45	X-3AV	AnPF	000+450	2	94-24	094+765	45	X-3AV	AnPF	000+450
	1	94-25	094+810	45	X-2AV			2	94-26	094+810	45	X-2AV		
	1	94-21	094+855	45	X-2AV			2	94-22	094+855	45	X-2AV		
	1	94-23	094+900	45	X-2AV			2	94-24	094+900	45	X-2AV		
Z.N. ATF 3.1	1	94-25	094+945	45	XL-5AV	A/S (CP)		2	94-26	094+945	45	XL-5AV	A/S (CP)	
	1	94-27	094+990	45	XC-4AV	SE		2	94-28	094+990	45	XC-4AV	SE	
	1	95-1	095+035	45	X-4AV	E		2	95-2	095+035	45	X-4AV	E	
	1	95-3	095+080	45	X-4AV	E			95-4	095+080	45	X-4AV	E	
	1	95-5	095+125	45	XC-4AV	SE - SECCIONADOR		2	95-6	095+125	45	XC-4AV	SE - SECCIONADOR	
	1	95-7	095+170	45	XL-5AV	A/S (CP)	000+971	2	95-8	095+170	45	XL-5AV	A/S (CP)	000+971
	1	95-9	095+215	45	X-3AV	AnPF		2	95-10	095+215	45	X-3AV	AnPF	
	1	95-11	095+260	45	X-3AV	PF	315	2	95-12	095+260	45	X-3AV	PF	
	1	95-13	095+305	45	X-3AV	AnPF		2	95-14	095+305	45	X-3AV	AnPF	
	1	95-15	095+350	45	XL-5AV	A/S (CP)		2	95-16	095+350	45	XL-5AV	A/S (CP)	
	1	95-17	095+395	45	XC-2AV	SE - SECCIONADOR		2	95-18	095+395	45	XC-2AV	SE - SECCIONADOR	
	1	95-19	095+440	45	X-2AV	E		2	95-20	095+440	45	X-2AV	E	
	1	95-21	095+485	45	X-2AV	E			95-22	095+485	45	X-2AV	E	
	1	95-23	095+530	45	XC-2AV	SE		2	95-24	095+530	45	XC-2AV	SE	
	1	95-25	095+575	45	XL-3AV	A/S (CP)	630	2	95-26	095+575	45	XL-3AV	A/S (CP)	630
	1	36-21	095+620	64	X-1AV			2	36-22	095+620	64	X-1AV		
	1	36-23	095+684	64	X-1AV			2	36-24	095+684	64	X-1AV		
	1	36-25	095+748	64	X-1AV			2	36-26	095+748	64	X-1AV		
	1	36-27	095+812	64	X-1AV			2	36-28	095+812	64	X-1AV		
	1	36-29	095+876	64	X-1AV	AnPF	000+545	2	36-30	095+876	64	X-1AV	AnPF	000+545
	1	37-1	095+940	64	X-1AV	PF		2	37-2	095+940	64	X-1AV	PF	
	1	37-3	096+004	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	37-4	096+004	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	37-5	096+068	64	X-1AV			2	37-6	096+068	64	X-1AV		
	1	37-7	096+132	64	X-1AV			2	37-8	096+132	64	X-1AV		
	1	37-9	096+196	64	X-1AV			2	37-10	096+196	64	X-1AV		
	1	37-11	096+260	64	X-1AV			2	37-12	096+260	64	X-1AV		
	1	37-13	096+324	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	37-14	096+324	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	37-15	096+388	64	XC-2AV	SE		2	37-16	096+388	64	XC-2AV	SE	
	1	37-17	096+452	64	X-2AV	E		2	37-18	096+452	64	X-2AV	E	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	37-19	096+516	64	XC-2AV	SE		2	37-20	096+516	64	XC-2AV	SE	
1	37-21	096+580	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+185	2	37-22	096+580	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+185
1	37-23	096+644	64	X-1AV			2	37-24	096+644	64	X-1AV		
1	37-25	096+708	64	X-1AV			2	37-26	096+708	64	X-1AV		
1	37-27	096+772	64	X-1AV			2	37-28	096+772	64	X-1AV		
1	37-29	096+836	64	X-1AV			2	37-30	096+836	64	X-1AV		
1	37-31	096+900	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	37-32	096+900	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	38-1	096+964	64	X-1AV	PF		2	38-2	096+964	64	X-1AV	PF	
1	38-3	097+028	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	38-4	097+028	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	38-5	097+092	64	X-1AV			2	38-6	097+092	64	X-1AV		
1	38-7	097+156	64	X-1AV			2	38-8	097+156	64	X-1AV		
1	38-9	097+220	64	X-1AV			2	38-10	097+220	64	X-1AV		
1	38-11	097+284	64	X-1AV			2	38-12	097+284	64	X-1AV		
1	38-13	097+348	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	38-14	097+348	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	38-15	097+412	64	XC-2AV	SE		2	38-16	097+412	64	XC-2AV	SE	
1	38-17	097+476	64	X-2AV	E		2	38-18	097+476	64	X-2AV	E	
1	38-19	097+540	64	XC-2AV	SE		2	38-20	097+540	64	XC-2AV	SE	
1	38-21	097+604	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	38-22	097+604	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	38-23	097+668	64	X-1AV			2	38-24	097+668	64	X-1AV		
1	38-25	097+732	64	X-1AV			2	38-26	097+732	64	X-1AV		
1	38-27	097+796	64	X-1AV			2	38-28	097+796	64	X-1AV		
1	38-29	097+860	64	X-1AV			2	38-30	097+860	64	X-1AV		
1	38-31	097+924	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	38-32	097+924	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	39-1	097+988	64	X-1AV	PF		2	39-2	097+988	64	X-1AV	PF	
1	39-3	098+052	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	39-4	098+052	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	39-5	098+116	64	X-1AV			2	39-6	098+116	64	X-1AV		
1	39-7	098+180	64	X-1AV			2	39-8	098+180	64	X-1AV		
1	39-9	098+244	64	X-1AV			2	39-10	098+244	64	X-1AV		
1	39-11	098+308	64	X-1AV			2	39-12	098+308	64	X-1AV		
1	39-13	098+372	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	39-14	098+372	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	39-15	098+436	64	XC-2AV	SE		2	39-16	098+436	64	XC-2AV	SE	
1	39-17	098+500	64	X-2AV	E		2	39-18	098+500	64	X-2AV	E	
1	39-19	098+564	64	XC-2AV	SE		2	39-20	098+564	64	XC-2AV	SE	
1	39-21	098+628	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	39-22	098+628	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	39-23	098+692	64	X-1AV			2	39-24	098+692	64	X-1AV		
1	39-25	098+756	64	X-1AV			2	39-26	098+756	64	X-1AV		
1	39-27	098+820	64	X-1AV			2	39-28	098+820	64	X-1AV		
1	39-29	098+884	64	X-1AV			2	39-30	098+884	64	X-1AV		
1	40-1	098+948	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	40-2	098+948	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	40-3	099+012	64	X-1AV	PF		2	40-4	099+012	64	X-1AV	PF	
1	40-5	099+076	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	40-6	099+076	64	X-1AV	AnPF	000+640
1	40-7	099+140	64	X-1AV			2	40-8	099+140	64	X-1AV		
1	40-9	099+204	64	X-1AV			2	40-10	099+204	64	X-1AV		
1	40-11	099+268	64	X-1AV			2	40-12	099+268	64	X-1AV		
1	40-13	099+332	64	X-1AV			2	40-14	099+332	64	X-1AV		
1	40-15	099+396	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	40-16	099+396	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
1	40-17	099+460	64	XC-2AV	SE		2	40-18	099+460	64	XC-2AV	SE	
1	40-19	099+524	64	X-2AV	E		2	40-20	099+524	64	X-2AV	E	
1	40-21	099+588	64	XC-2AV	SE		2	40-22	099+588	64	XC-2AV	SE	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

Z.N. ATF 3.1 - ACCESO ZAMORA	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
	1	40-23	099+652	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	40-24	099+652	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	40-25	099+716	64	X-1AV			2	40-26	099+716	64	X-1AV		
	1	40-27	099+780	64	X-1AV			2	40-28	099+780	64	X-1AV		
	1	40-29	099+844	64	X-1AV			2	40-30	099+844	64	X-1AV		
	1	40-31	099+908	64	X-1AV			2	40-32	099+908	64	X-1AV		
	1	41-1	099+972	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	41-2	099+972	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	41-3	100+036	64	X-1AV	PF		2	41-4	100+036	64	X-1AV	PF	
	1	41-5	100+100	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	41-6	100+100	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	41-7	100+164	64	X-1AV			2	41-8	100+164	64	X-1AV		
	1	41-9	100+228	64	X-1AV			2	41-10	100+228	64	X-1AV		
	1	41-11	100+292	64	X-1AV			2	41-12	100+292	64	X-1AV		
	1	41-13	100+356	64	X-1AV			2	41-14	100+356	64	X-1AV		
	1	41-15	100+420	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	41-16	100+420	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	41-17	100+484	64	XC-2AV	SE		2	41-18	100+484	64	XC-2AV	SE	
	1	41-19	100+548	64	X-2AV	E		2	41-20	100+548	64	X-2AV	E	
	1	41-21	100+612	64	XC-2AV	SE		2	41-22	100+612	64	XC-2AV	SE	
	1	41-23	100+676	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	41-24	100+676	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	41-25	100+740	64	X-1AV			2	41-26	100+740	64	X-1AV		
	1	41-27	100+804	64	X-1AV			2	41-28	100+804	64	X-1AV		
	1	41-29	100+868	64	X-1AV			2	41-30	100+868	64	X-1AV		
	1	42-1	100+932	64	X-1AV			2	42-2	100+932	64	X-1AV		
	1	42-3	100+996	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	42-4	100+996	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	42-5	101+060	64	X-1AV	PF		2	42-6	101+060	64	X-1AV	PF	
	1	42-7	101+124	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	42-8	101+124	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	42-9	101+188	64	X-1AV			2	42-10	101+188	64	X-1AV		
	1	42-11	101+252	64	X-1AV			2	42-12	101+252	64	X-1AV		
	1	42-13	101+316	64	X-1AV			2	42-14	101+316	64	X-1AV		
	1	42-15	101+380	64	X-1AV			2	42-16	101+380	64	X-1AV		
	1	42-17	101+444	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+244	2	42-18	101+444	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+244
	1	42-19	101+508	64	XC-2AV	SE		2	42-20	101+508	64	XC-2AV	SE	
	1	42-21	101+572	64	X-2AV	E		2	42-22	101+572	64	X-2AV	E	
	1	42-23	101+636	64	XC-2AV	SE		2	42-24	101+636	64	XC-2AV	SE	
	1	42-25	101+700	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280	2	42-26	101+700	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+280
	1	42-27	101+764	64	X-1AV			2	42-28	101+764	64	X-1AV		
	1	42-29	101+828	64	X-1AV			2	42-30	101+828	64	X-1AV		
	1	43-1	101+892	64	X-1AV			2	42-32	101+892	64	X-1AV		
	1	43-3	101+956	64	X-1AV			2	43-2	101+956	64	X-1AV		
	1	43-5	102+020	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	43-4	102+020	64	X-1AV	AnPF	000+640
	1	43-7	102+084	64	X-1AV	PF		2	43-6	102+084	64	X-1AV	PF	
	1	43-9	102+148	60	X-1AV	AnPF	000+604	2	43-8	102+148	60	X-1AV	AnPF	000+604
	1	43-11	102+208	60	X-1AV			2	43-10	102+208	60	X-1AV		
	1	43-13	102+268	60	X-1AV			2	43-12	102+268	60	X-1AV		
	1	43-15	102+328	60	X-1AV			2	43-14	102+328	60	X-1AV		
	1	43-17	102+388	50	X-1AV			2	43-16	102+388	50	X-1AV		
	1	43-19	102+438	50	X-1AV			2	43-18	102+438	50	X-1AV		
	1	43-21	102+488	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+210	2	43-20	102+488	50	XL-3AV	A/S (CP)	000+000
	1	43-23	102+538	50	XC-2AV	SE		2	43-22	102+538	50	XC-2AV	SE	
	1	43-25	102+588	50	X-2AV	E		2	43-24	102+588	50	X-2AV	E	
	1	43-27	102+638	50	XC-2AV	SE		2	43-26	102+638	50	XC-2AV	SE	



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 1 Y 2

VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	VIA	PERFIL	PK	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
1	43-29	102+688	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+244	2	43-28	102+688	50	XL-3AV	A/S (CP)	001+244
1	43-31	102+738	50	X-1AV			2	43-30	102+738	50	X-1AV		
1	43-33	102+788	50	X-1AV			2	43-32	102+788	50	X-1AV		
1	43-35	102+838	50	X-1AV			2	43-34	102+838	50	X-1AV		
1	43-37	102+888	50	X-1AV			2	43-36	102+888	50	X-1AV		
1	44-1	102+938	50	X-1AV			2	44-2	102+938	50	X-1AV		
1	44-3	102+988	50	X-1AV			2	44-4	102+988	50	X-1AV		
1	44-5	103+038	50	X-1AV	AnPF	000+600	2	44-6	103+038	50	X-1AV	AnPF	000+600
1	44-7	103+088	50	X-1AV	PF		2	44-8	103+088	50	X-1AV	PF	
1	44-9	103+138	50	X-1AV	AnPF	000+610	2	44-10	103+138	50	X-1AV	AnPF	000+610
1	44-11	103+188	50	X-1AV			2	44-12	103+188	50	X-1AV		
1	44-13	103+238	50	X-1AV			2	44-14	103+238	50	X-1AV		
1	44-15	103+288	50	X-1AV			2	44-16	103+288	50	X-1AV		
1	44-17	103+338	50	X-1AV			2	44-18	103+338	50	X-1AV		
1	44-19	103+388	54	X-1AV			2	44-20	103+388	54	X-1AV		
1	44-21	103+442	64	XL-3AV	A/S (CP)	# REF!	2	44-22	103+442	64	XL-3AV	A/S (CP)	# REF!
1	44-23	103+506	64	XC-2AV	SE		2	44-24	103+506	64	XC-2AV	SE	
1	44-25	103+570	64	X-2AV	E		2	44-26	103+570	64	X-2AV	E	
1	44-27	103+634	64	XC-2AV	SE		2	44-28	103+634	64	XC-2AV	SE	
1	44-29	103+698	64	XL-3AV	A/S (CP)	001+210	2	44-30	103+698	64	XL-3AV	A/S (CP)	
1	44-31	103+762	64	X-1AV			2	44-32	103+762	64	X-1AV		
1	44-33	103+826	64	X-1AV			2	44-34	103+826	64	X-1AV		
1	44-35	103+890	64	X-1AV			2	44-36	103+890	64	X-1AV		
1	45-1	103+954	64	X-1AV			2	45-2	103+954	64	X-1AV	AnPF	000+576
1	45-3	104+018	64	X-1AV	AnPF	000+640	2	45-4	104+018	64	X-1AV	PF	
1	45-5	104+082	64	X-1AV	PF		2	45-6	104+082	64	X-1AV	AnPF	# REF!
1	45-7	104+146	64	X-1AV	AnPF	# REF!	2	45-8	104+146	64	X-1AV		
1	45-9	104+210	64	X-1AV			2	45-10	104+210	64	X-1AV		
1	45-11	104+274	64	X-1AV			2	45-12	104+274	64	X-1AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

VIAS 3 Y 4

	RADIO CURVA	VIA	PERFIL	PK VÍA GENERAL	PK Estación	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón	RADIO CURVA	VIA	PERFIL	PK VÍA GENERAL	PK Salto Carnero	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
ESTACIÓN DE MEDINA	RECTA	3	20-33	020+987		31	XL-3AV	An(CP)	000+377		4	20-34	020+987		31	XL-3AV	An(CP)	000+377
	RECTA	3	21-1.3	021+018		62	X-1AV				4	21-2.4	021+018		62	X-1AV		
	RECTA	3	21-3.3	021+080		52	X-1AV				4	21-4.4	021+080		52	X-1AV		000+924
	RECTA	3	21-5.3	021+132		44	X-1AV	Empieza hilo vía 3 en vía 1			4	21-6.4	021+132		44	X-1AV		
	RECTA	3	21-7.3	021+176		43	X-1AV				4	21-8.4	021+176		43	X-1AV		
	RECTA	3	21-9	021+219		39	XL-6AV	PR (22m)			4	21-10	021+219		39	XL-6AV	PR (22m)	
	RECTA	3	21-11	021+258		48	XL-6AV	PR (20m) - P90			4	21-12	021+258		48	XL-6AV	PR (20m) - P90	
	RECTA	3	21-13	021+306		58	-	PE			4	21-14	021+306		58	-	PE	
	RECTA	3	21-15	021+364		58	-	PA	000+377		4	21-16	021+364		58	-	PA	000+377
	RECTA	3	21-17	021+422		60	-				4	21-18	021+422		60	-		
	RECTA	3	21-19	021+482		60	-	AnPF	000+410		4	21-20	021+482		60	-	AnPF	000+462
	RECTA	3	21-21	021+542		60	-	PF			4	21-22	021+542		60	-	PF	
	RECTA	3	21-23	021+602		60	-	AnPF	000+514		4	21-24	021+602		60	-	AnPF	000+462
	RECTA	3	21-25	021+662		60	-				4	21-26	021+662		60	-		
	RECTA	3	21-27	021+722		60	-				4	21-28	021+722		60	-		
	RECTA	3	21-29	021+782		52	-				4	21-30	021+782		52	-		
	RECTA	3	21-31	021+834		42	-	PA (CP)			4	21-32	021+834		42	-	PA (CP)	
	RECTA	3	21-33	021+876		32	XL-6AV	PR (21m) - PE			4	21-34	021+876		32	XL-6AV	PR (21m) - PE	
	RECTA	3	21-35	021+908		22	XL-6AV	PR (20 m) - P90			4	21-36	021+908		22	XL-6AV	PR (20 m) - P90	
	RECTA	3	21-37	021+930		32	XL-6AV	PR (20 m)			4	21-38	021+930		32	XL-6AV	PR (20 m)	
	RECTA	3	21-39	021+962		42	XL-6AV	PR (22 m)			4	21-40	021+962		42	XL-6AV	PR (22 m)	
	RECTA	3	22-1.3	022+004		52	X-1AV				4	22-2.4	022+004		52	X-1AV		000+924
	RECTA	3	22-3.3	022+056		49	X-1AV	Termina hilo 3 en vía 1			4	22-4.4	022+056		49	X-1AV		
	RECTA	3	22-5.3	022+105	000+003	58	X-1AV				4	22-6.4	022+105		58	X-1AV		
	RECTA	3	22-7.3		000+061	63	X-1AV				4	22-8.4	022+163		63	X-1AV		
	RECTA	3	22-9		000+124	63	XL-6AV	PR (19 m)			4	22-10.4	022+226		63	X-1AV		
	RECTA	3	22-11		000+187	64	XL-6AV	PR (19 m)			4	22-12.4	022+289		59	X-1AV		
	RECTA	3	22-13.3		000+251	64	X-2AV	P90			4	22-14.4	022+348		58	X-1AV		
	RECTA	3	0-1.3	022+417	000+315	64	XL-5AV	PE (3ménsulas) - AnPF	000+583		4	22-16.4	022+406		54	X-1AV	AnPF	000+626
	RECTA	3	0-3.3		000+379	64	XL-3AV	PA AN1 - PF			4	22-18.4	022+460		54	X-1AV	PF	
	RECTA	3	0-5.3		000+443	64	XC-2XV	PE - AnPF	000+639		4	22-20.4	022+514		58	X-1AV	AnPF	000+548
	RECTA	3	0-7.3		000+507	64	XL-3AV	PA AN2			4	22-22.4	022+572		58	X-1AV		
	RECTA	3	0-9.3		000+571	64	X-1AV				4	22-24.4	022+630		62	X-1AV		
	RECTA	3	0-11.3		000+635	64	X-1AV				4	22-26.4	022+692		62	X-1AV		
	RECTA	3	0-13.3		000+699	55	X-1AV				4	22-28.4	022+754		58	X-1AV		
	RECTA	3	0-15.3		000+754	50	XL-3AV	A/S (CP)			4	22-30.4	022+812		48	X-1AV		
	R=3600	3	0-17.3		000+804	50	XC-3AV	SE			4	22-32	022+860		38	XL-6AV		
	R=3600	3	0-19.3		000+854	50	X-2AV	E			4	22-34.4	022+898		37	XL-5AV	SEMIPÓRTICO (9m)	
	RECTA	3	0-21.3		000+904	50	XC-2AV	SE			4	22-36.4	022+935		36	XL-3AV	P90	
	RECTA	3	0-23.3	023+056	000+954	60	XL-3AV	A/S (CP)	001+222		4	22-38.4	022+971		37	XL-3AV	PE	
	RECTA	3	1-1.3		001+014	64	X-1AV				4	23-2	023+008	005+879	41	XL-6AV	PR (15m) - PA (CP) - PE	001+174
	RECTA	3	1-3.3		001+078	60	X-1AV				4	23-4	023+049	005+838	31	XL-6AV	PR (16m) - PA AN1	000+535
	RECTA	3	1-5.3		001+138	55	X-1AV				4	23-6	023+080	005+807	41	XL-6AV	PR (17m)	
	RECTA	3	1-7.3		001+193	55	X-1AV				4	5-32.4		005+766	47	X-1AV		
	RECTA	3	1-9.3		001+248	45	X-1AV				4	5-30.4		005+719	50	X-1AV		
	R=1450	3	1-11.3		001+293	45	X-2AV				4	5-28.4		005+669	50	X-1AV	AnPF	000+638
	R=1450	3	1-13.3		001+338	45	X-3AV	AnPF	000+630	R=2235	4	5-26.4		005+619	50	X-3AV	PF	
	R=1450	3	1-15.3		001+383	45	X-3AV	PF		R=2235	4	5-24.4		005+569	50	X-3AV	AnPF	000+640



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

ESTACIÓN DE MEDINA	R=1450	3	1-17.3		001+428	45	X-3AV	AnPF	000+630	R=2235	4	5-22.4		005+519	45	X-2AV		
	R=1450	3	1-19.3		001+473	45	X-2AV			R=2235	4	5-20.4		005+474	45	X-2AV		
	R=1450	3	1-21.3		001+518	45	X-2AV			R=2235	4	5-18.4		005+429	50	X-2AV		
	R=1450	3	1-23.3		001+563	45	X-2AV			R=2235	4	5-16.4		005+379	50	X-2AV		
	R=1450	3	1-25.3		001+608	45	X-2AV			R=2235	4	5-14.4		005+329	50	X-2AV		
	R=1450	3	1-27.3		001+653	45	X-2AV			R=2235	4	5-12.4		005+279	50	X-2AV		
	R=1450	3	1-29.3		001+698	45	X-2AV			R=2235	4	5-10.4		005+229	50	X-2AV		
	R=1450	3	1-31.3		001+743	45	X-2AV			R=2235	4	5-8.4		005+179	50	XL-5AV	A/S (CP)	
	R=1450	3	1-33.3		001+788	45	XL-5AV	A/S (CP)		R=2235	4	5-6.4		005+129	50	XC-4AV	SE	
	R=1450	3	1-35.3		001+833	45	XC-4AV	SE		R=2235	4	5-4.4		005+079	50	X-4AV	E	
	R=1450	3	1-37.3		001+878	45	X-4AV	E		R=2235	4	5-2.4		005+029	50	XC-4AV	SE	
	R=1450	3	1-39.3		001+923	45	X-4AV	E		R=2235	4	4-40.4		004+979	50	XL-5AV	A/S (CP)	001+278
	R=1450	3	1-41.3		001+968	45	XC-4AV	SE - SECCIONADOR		R=2235	4	4-38.4		004+929	50	X-2AV		
	R=1450	3	2-1.3		002+013	45	XL-5AV	A/S (CP)	001+259	R=2235	4	4-36.4		004+879	50	X-3AV	AnPF	000+350
	R=1450	3	2-3.3		002+058	45	X-2AV			R=2235	4	4-34.4		004+829	50	X-3AV	PF	
	R=1450	3	2-5.3		002+103	45	X-3AV	AnPF		R=2235	4	4-32.4		004+779	50	X-3AV	AnPF	000+350
	R=1450	3	2-7.3		002+148	45	X-3AV	PF		R=2235	4	4-30.4		004+729	50	X-2AV		
	R=1450	3	2-9.3		002+193	45	X-3AV	AnPF		R=2235	4	4-28.4		004+679	50	XL-5AV	A/S (CP)	
	R=1450	3	2-11.3		002+238	45	X-2AV			R=2235	4	4-26.4		004+629	50	XC-4AV	SE	
	R=1450	3	2-13.3		002+283	45	XL-5AV	A/S (CP)		R=2235	4	4-24.4		004+579	50	X-4AV	E	
	R=1450	3	2-15.3		002+328	45	XC-4AV	SE - SECCIONADOR		R=2235	4	4-22.4		004+529	50	XC-4AV	SE	
	R=1450	3	2-17.3		002+373	45	X-4AV	E		R=2235	4	4-20.4		004+479	50	XL-5AV	A/S (CP)	000+750
	R=1450	3	2-19.3		002+418	45	X-4AV	E		R=2235	4	4-18.4		004+429	50	X-2AV		
	R=1450	3	2-21.3		002+463	45	XC-4AV	SE		R=2235	4	4-16.4		004+379	50	X-2AV		
	R=1450	3	2-23.3		002+508	45	XL-5AV	A/S (CP)		R=2235	4	4-14.4		004+329	50	X-2AV		
	R=1450	3	2-25.3		002+553	45	X-2AV			R=2235	4	4-12.4		004+279	45	X-2AV		
	R=1450	3	2-27.3		002+598	45	X-2AV			R=2235	4	4-10.4		004+234	45	X-2AV		
	RECTA	3	2-29.3		002+643	45	X-1AV			R=2235	4	4-8.4		004+189	45	X-2AV		
	RECTA	3	2-31.3		002+688	45	X-1AV			R=2235	4	4-6.4		004+144	45	X-2AV		
	RECTA	3	2-33.3		002+733	45	X-1AV			R=2235	4	4-4.4		004+099	54	X-3AV	AnPF	000+634
	RECTA	3	2-35.3		002+778	45	X-1AV			R=2235	4	4-2.4		004+045	54	X-3AV	PF	
	RECTA	3	2-37.3		002+823	55	X-1AV	AnPF	000+595	R=2235	4	3-26.4		003+991	54	X-3AV	AnPF	000+635
	RECTA	3	2-39.3		002+878	55	X-1AV	PF		R=2235	4	3-24.4		003+937	54	X-2AV		
	RECTA	3	2-41.3		002+933	50	X-1AV	AnPF	000+606	R=2235	4	3-22.4		003+883	54	X-2AV		
	RECTA	3	2-43.3		002+983	50	X-1AV			R=2235	4	3-20.4		003+829	50	X-2AV		
	RECTA	3	3-1.3		003+033	50	XL-3AV	PA (CP)			4	3-18.4		003+779	42	X-1AV		
	RECTA	3	3-3.3		003+083	42	XC-2XV	PE			4	3-16.4		003+737	33	XL-6AV		
	RECTA	3	3-5.3		003+125	32	X-2AV	P90			4	3-14.4		003+704	34	X-2AV	P90	
	RECTA	3	3-7.3		003+157	42	XL-6AV	PR (13m)			4	3-12.4		003+670	34	XC-2AV	PE	
	RECTA	3	3-9.3		003+199	52	X-1AV				4	3-10.4		003+636	44	XL-5AV	P90-A/S(CP)	
	RECTA	3	3-11.3		003+251	51	XL-3AV	A/S (CP)			4	3-8.4		003+592	54	-	SE	
	RECTA	3	3-13.3		003+302	54	XC-3AV	SE - SEMIPÓRTICO (8m)			4	3-6.4		003+538	64	X-2AV	E	
	RECTA	3	3-15.3		003+356	64	X-2AV	E			4	3-4.4		003+474	64	XC-2AV	SE	
	RECTA	3	3-17.3		003+420	64	XC-2AV	SE			4	3-2.4		003+410	-	XL-3AV	A/S (CP)	001+269
	RECTA	3	3-19.3		003+484	-	XL-3AV	A/S (CP)	001+201									

RADIO	VIA	PERFIL	PK	PK INTERCAMBIA DOR	VANO	POSTE	OBSERVACIONES	Cantón y Semicantón
R=500	INTER.	0-2.I		000+066	32	X-2AV		
R=500	INTER.	0-4.I		000+098	32	X-2AV		
R=500	INTER.	0-6.I		000+130	32	X-2AV		
R=500	INTER.	0-8.I		000+162	32	X-2AV		



PROYECTO FIN DE CARRERA: "CÁLCULO MECÁNICO DE LA CATENARIA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-GALICIA. TRAMO OLMEDO-ZAMORA"

ANEJO 1. CUADERNO DE TRABAJO

INT. MEDINA	R=500	INTER.	0-10.I		000+194	40	X-2AV		
	RECTA	INTER.	0-12.I		000+234	50	X-1AV	AnPF	000+466
	RECTA	INTER.	0-14.I		000+284	45	X-1AV	PF	
	RECTA	INTER.	0-16.I		000+329	45	X-1AV	AnPF	000+477
	RECTA	INTER.	0-18.I		000+374	40	X-1AV		
	RECTA	INTER.	0-20.I		000+414	40	XL-3AV	PA (CP)	
	RECTA	INTER.	0-22.I		000+454	31	XC-2AV	PE	
	RECTA	INTER.	0-24.I		000+485	35	X-2AV	P90	
	RECTA	INTER.	0-26.I		000+520	36	X-1AV		
	RECTA	INTER.	0-28.I		000+556	35	X-1AV		
	RECTA	INTER.	0-30.I		000+591	30	X-2AV	P90	
	RECTA	INTER.	0-32.I		000+621	36	XCL-3AV	A/S - PE	
	RECTA	INTER.	0-34.I		000+657	26	XCL-3AV	SE - PA (CP)	
	R=300	INTER.	0-36.I		000+683	26	X-4AV	E	
	R=300	INTER.	0-38.I		000+709	26	X-4AV	E	
	R=300	INTER.	0-40.I		000+735	26	XC-4AV	SE	
	R=300	INTER.	0-42.I		000+761	-	XL-5AV	A/S	000+943

VÍAS SECUNDARIAS INTERCAMBIADOR

R=250	INTER.1	0-26.I BIS		000+029	21	X-2AV		
R=250	INTER.1	0-28.I BIS		000+050	-	XL-5AV	PA	
R=250	INTER.2	0-30.I BIS		000+028	20	XL-5AV	PA	
R=250	INTER.2	0-32.I BIS		000+048	-	X-2AV		

PAET TORO	RADIO CURVA	VIA	PERFIL	PK	VANO	MACIZO	EQUIPO	Cantón y Semicantón	RADIO CURVA	VIA	PERFIL	PK VÍA GENERAL	VANO	MACIZO	POSTE	DESCENTRAMIENTO
	RECTA	3	69-3	069+055	36				RECTA	4	69-4	069+055	36		XL-3AV	
	RECTA	3	69-5	069+091	46					4	69-6	069+091	46		XL-4AV	
	RECTA	3	69-7	069+137	36					4	69-8	069+137	36		XL-6AV	
	RECTA	3	69-9	069+173	37					4	69-10	069+173	37		XL-6AV	
	RECTA	3	69-11	069+210	46					4	69-12	069+210	46		XL-6AV	
	RECTA	3	69-13	069+256	50					4	69-14	069+256	50		-	
	RECTA	3	69-15	069+306	50					4	69-16	069+306	50		-	
	RECTA	3	69-17	069+356	50					4	69-18	069+356	50		-	
	RECTA	3	69-19	069+406	50					4	69-20	069+406	50		-	
	RECTA	3	69-21	069+456	52					4	69-22	069+456	52		-	
	RECTA	3	69-23	069+508	52			000+519		4	69-24	069+508	52		-	
	RECTA	3	69-25	069+560	50					4	69-26	069+560	50		-	
	RECTA	3	69-27	069+610	50			000+401		4	69-28	069+610	50		-	
	RECTA	3	69-29	069+660	50					4	69-30	069+660	50		-	
	RECTA	3	69-31	069+710	50			000+265		4	69-32	069+710	50		-	
	RECTA	3	69-33	069+760	46					4	69-34	069+760	46		-	
	RECTA	3	69-35	069+806	36					4	69-36	069+806	36		XL-6AV	
	RECTA	3	69-37	069+842	37					4	69-38	069+842	37		XL-6AV	
	RECTA	3	69-39	069+879	46					4	69-40	069+879	46		XL-6AV	
	RECTA	3	69-41	069+925	36					4	69-42	069+925	36		-	
		3	69-43	069+961				000+920		4	69-44	069+961			XL-3AV	



PÓRTICOS

P.P.K.K.	ESTACIÓN	LONGITUD (M)	Nº VÍAS	POSTE	OBSERVACIÓN
021+219	Medina	22	4	XL-6AV	
021+258	Medina	20	4	XL-6AV	
021+876	Medina	21	4	XL-6AV	
021+908	Medina	20	4	XL-6AV	
021+930	Medina	20	4	XL-6AV	
021+962	Medina	22	4	XL-6AV	
022+163	Medina	12	3	XL-5AV	
022+226	Medina	19	4	XL-6AV	
022+289	Medina	19	4	XL-6AV	
022+348	Medina	9	2	XL-5AV	
022+460	Medina	11	3	XL-5AV	
022+514	Medina	11	3	XL-5AV	
022+572	Medina	11	2	XL-5AV	
022+630	Medina	11	2	XL-5AV	
022+688	Medina	11	2	XL-5AV	
022+745	Medina	11	2	XL-5AV	
022+860	Medina	11	3	XL-5AV	
022+908	Medina	16	3	XL-6AV	
022+914	Medina	8	2	XL-5AV	
022+958	Medina	8	2	XL-5AV	
023+008	Medina	15	3	XL-6AV	
023+049	Medina	16	3	XL-6AV	
023+080	Medina	17	3	XL-6AV	
003+157	Intercambiador	13	3	XL-6AV	
003+302	Intercambiador	8	2	XL-5AV	

046+733	PB Nava	12	2	XL-5AV	
047+649	PB Nava	12	2	XL-5AV	

068+471	PAET Toro	12	2	XL-5AV	
069+137	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+137	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+173	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+210	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+806	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+842	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
069+879	PAET Toro	22	4	XL-6AV	
070+545	PAET Toro	12	2	XL-5AV	

088+648	PB Coreses	12	2	XL-5AV	
089+563	PB Coreses	12	2	XL-5AV	